

目 录

第二篇 造 纸

概 论	(1)
一、概述	(1)
二、纸和纸板的分类和规格	(2)
三、纸和纸板的质量要求	(4)
四、纸张与纸板的抄制	(10)
第一章 打 浆	(13)
第一节 概 述	(13)
第二节 打浆理论	(14)
一、打浆对纤维的作用	(15)
二、草浆打浆机理	(19)
三、显微镜观察	(21)
四、纸张强度、纤维的结合及其影响因素	(26)
五、影响纤维结合力的因素	(28)
六、打浆与纸张性质的关系	(30)
第三节 打浆工艺	(33)
一、打浆方式	(33)
二、影响打浆的因素	(34)
三、各种浆的打浆特性	(39)
四、打浆的生产技术控制	(40)
第四节 打浆设备	(42)
一、打浆机	(42)
二、盘磨机	(48)
三、圆柱磨浆机	(52)
四、锥形磨浆机	(55)
第五节 打浆辅助设备	(56)
一、水力碎浆机	(56)
二、贮浆池	(57)
三、浓度调节器	(58)
第二章 调料	(62)
第一节 施 胶	(62)
一、施胶目的和施胶方法	(62)
二、内部施胶	(63)
三、表面施胶	(84)
第二节 加填	(88)

一、加填的目的和作用	(88)
二、填料的性质及其选用	(89)
第三节 染色	(94)
一、纸张的色泽	(94)
二、色料的种类及其性质	(96)
三、染色操作和调色	(97)
四、影响染色的主要因素	(98)
第四节 添加剂的应用	(99)
一、增强	(100)
二、助留与助滤	(102)
三、消沫	(105)
第三章 纸的抄造	(107)
第一节 概 述	(107)
一、纸的抄造方法和设备分类	(107)
二、造纸机的系列和规范	(107)
三、造纸车间的“三率”	(110)
四、长网造纸机	(110)
五、圆网造纸机	(114)
第二节 纸料的净化、筛选和除气	(115)
一、纸料的净化和筛选	(115)
二、纸料的除气	(118)
第三节 造纸机	(120)
一、纸料的流送和上网	(120)
二、网部	(142)
三、压榨部	(194)
四、干燥部	(231)
五、压光卷取部	(262)
第四节 特殊造纸机	(268)
一、单面光纸机	(268)
二、自动引纸纸机	(269)
三、干法纸机	(271)
第五节 造纸机的传动	(273)
一、纸机传动的要求和速比	(273)
二、单电动机传动	(274)
三、多电动机传动	(277)
四、纸机传动的比较和发展	(278)
五、纸机传动的功率消耗	(279)
第六节 纸的完成整理	(280)
一、超级压光	(280)
二、复卷	(286)
三、卷筒纸的包装和封头	(289)

四、平板纸的切纸、选纸、数纸和包装	(290)
第四章 纸板的生产	(295)
第一节 概 述	(295)
第二节 纸板的生产过程	(296)
一、生产方法	(296)
二、连续式纸板机	(298)
三、间歇式和半连续式生产	(300)
四、纸板质量控制的几个主要问题	(302)
第三节 连续式纸板机结构的近代发展趋势	(304)
第五章 加工纸和非植物纤维纸	(310)
第一节 加工纸	(310)
一、涂布加工纸	(310)
二、变性加工纸	(330)
三、浸渍加工纸	(333)
四、机械加工纸	(334)
五、复合加工纸	(334)
第二节 非植物纤维纸	(335)
一、合成纤维纸	(335)
二、玻璃纤维纸	(338)
(一) 玻璃纤维纸的性质和用途	(338)
(二) 玻璃纤维纸的抄造	(339)
三、矿棉纤维纸	(339)
四、金属纤维纸及其他	(339)
五、合成纸	(340)
附 录	
国际单位制	(342)
一、国际制基本单位	(342)
二、工程单位与国际单位换算表	(342)
三、与国际单位制并用的单位	(343)

第二篇 造 纸

概 论

一、概 述

世界纸张和纸板总产量在 1979 年已达到一亿七千万吨以上；年产量在三百万吨以上的共有十一个国家。按人口平均分配，每人每年消耗纸张和纸板在 100 公斤以上的只有十四个国家；而消耗量在 10 公斤以下的竟有七十五个国家之多，这些国家几乎全部在亚非拉地区。

国际上，纸张和纸板的品种种类多达 5000 种以上。据历年来纸张和纸板的生产情况来看，纸板产量比重逐年增长。在某些国家中，纸板产量的比重已达到 30~52%。

近年来，由于木片磨木浆的发展，特别是预热木片磨木浆的出现，不但给利用阔叶木材种开辟了道路，而且还给减少新闻纸配浆中化学木浆创造了条件，降低了新闻纸的成本。此外，新闻纸定量又有从 50~52 克/米² 降为 45~48 克/米²，进一步做到节约原料、降低成本。自五十年代以来，涂料印刷纸产量即已开始有较大的增长，有些国家的涂料印刷纸产量已达到纸张和纸板总产量的 10% 以上，并正朝着低定量涂料印刷纸的方向发展。在近年来出现的新产品中，值得注意的是在六十年代问世的合成纸和合成纤维纸。合成纸和合成纤维纸均以来自石油化工副产品的聚合物（例如聚乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺等）为原料而制得，其用途极为广泛，尤其适用于作为绝缘材料。从上述几个例子，可以粗略地看到，国际上纸张和纸板产品种类的发展趋势。

自六十年代以来，在打浆和抄纸技术方面，也出现了若干较大的变化。

连续打浆早已获得较普遍的应用，而高浓打浆（浓度在 20~30%）也已在生产中付诸实践。

世界上最宽的造纸机，幅门接近 10 米。新闻纸机最高车速已达 900~1000 米/分，生产皱纹薄纸的大直径单烘缸造纸机最高车速则达 1500~2000 米/分。近二十余年来，由于人们对抄纸过程的基本原理和基础理论进行了大量研究工作，给造纸机结构的改革，奠定必要的理论基础。六十年代期间先后涌现的各种新型造纸机和纸板机（例如夹网造纸机、真空圆网纸板机等），在成型部结构上有着较大的变革，压榨装置和干燥方法也有所改革，对提高纸机车速、进一步改进纸张质量（特别是纸张两面性以及纵横向强度比），起着积极作用。

造纸系统自动控制已从操作控制的领域，发展到机上质量检查的反馈自控技术，例

如,纸幅全宽定量、水分含量、不透明度、光泽度等的机上检查和调整。在造纸机上运用电子计算机进行控制,又给进一步提高纸张质量、提高劳动生产率,创造更有利的条件。

进入七十年代以来,各国对环境保护问题给予很大重视。为减少对河流水域造成严重污染,造纸车间应尽可能回用白水,减少清水耗用量,减少排污量。不少造纸厂已成功地将抄纸所需清水量由 $200\sim 300$ 米³/吨纸降至 $100\sim 150$ 米³/吨纸以下,并正朝着 $20\sim 50$ 米³/吨纸的目标努力。显然,在造纸车间实行封闭用水,不但可以解决环境保护问题,而且又有利于节约纤维原料、降低制造成本。但是,也必须指出,封闭用水又会带来设备和管道的腐蚀问题,需要予以解决。

建国以来,我国造纸工业在产品品种、产量、质量各个方面,都有很大发展,取得很大成就。我国纸张和纸板总产量已有很大的增长,产品种类也已达 400 多种。但是,也要看到,我国造纸工业的现状,和实现四个现代化的需要以及人民文化生活的提高很不适应,若跟世界上先进水平相比,更存在着很大的差距。特别应该提出的是,为数众多的圆网造纸机的改造,将会是今后的重要课题之一。综观国际造纸工业的发展趋势,我国造纸工业要迎头赶上世界造纸工业先进水平,还需要作出较大的努力。

二、纸和纸板的分类和规格

(一) 纸和纸板的分类

从纤维原料制浆造纸所得产品,可以分为纸和纸板两大类。纸和纸板是按定量(即单位面积重量)或厚度予以区别,但其界限并不很严格。一般来说,定量在 200 克/米² 以下或厚度在 0.1 毫米以下的,统称为纸;定量在 200 克/米² 以上或厚度在 0.1 毫米以上,则为纸板或板纸。有些产品定量虽达 $200\sim 250$ 克/米²(例如白卡纸、绘图纸等),但仍按习惯划归之为纸。

除根据定量或厚度分为纸和纸板外,通过制浆造纸制得的产品,又可按照抄制方法分类,根据选用的纤维原料分类,或者按照产品用途分类。

从抄制方法来看,可以分为机制纸和手工纸两大类。我国的手工纸具有悠久的历史,有些产品早已驰名中外。手工纸大多是通过将稻草、竹子、檀皮、桑皮等进行石灰沤制而成纸浆,沤制周期长达 $1\sim 3$ 个月。沤制所得纸浆经洗净后,再通过春料或碾料,加水稀释成浆料悬浮液,再在纸槽中利用竹帘捞纸。手工抄纸生产周期既长,劳动强度又大,劳动生产率极低,难以适应现代大规模生产发展的需要,为此,手工纸生产早已为机制纸所取代。但是,也还应该指出,有少数传统手工纸,属我国特有的文化遗产,具有独特的民族风格,至今仍享有盛誉。在这一类产品中,宣纸最为著称。以稻草和檀皮为原料制成的宣纸,仍然是国画和书法艺术必不可缺的工具。在市场上尚见销售,甚至远销东南亚国家的,还有供书写及其他用途的毛边纸、连史纸、贡川纸等。供糊窗户、顶棚用的桑皮纸以及少数手工卫生纸(例如麻纸),则仅在个别地区仍有少量生产。

在机制纸的抄制中,通常以水作为纸浆的悬浮介质,使纤维获得充分分散,然后在造纸机网部取得成形和脱水,再经过压榨和干燥(有些纸种还需要经过压光处理),制成纸张,这种传统方法称为湿法造纸。除湿法造纸外,尚有干法造纸。干法造纸一般是

设法使纤维悬浮于空气中，令其均匀地散落到造纸机网上，与此同时，喷淋粘合剂使纤维相互粘结，构成纸张。近年来，在机制纸领域中，又出现泡沫成型法，利用空气在纸浆中形成泡沫，以泡沫取代水作为悬浮介质，改进成纸匀度。干法造纸多限于抄制特殊纸种(例如烟卷过滤嘴用纸、电气绝缘纸等)；泡沫法成型则问世不久，尚未获很大推广。为此，本书主要将着重介绍传统的湿法造纸。

除机制纸和手工纸外，近年来国内外新兴的“不纺织布”，也是以纸浆、棉纺下脚料、合成纤维等作为原料，加用粘合剂而制得，然后再进一步加工制成医疗卫生用绷带、床单、手术室用口罩、服装、防护衣服、服装衬里、餐巾、滤过设施、擦桌布、婴孩尿布等产品。这类产品大多使用一次后，即予废弃。不纺织布的制造方法有许多地方与抄纸过程近似，但已自成另一行业，不在本书讨论范围。

根据所选用纤维原料，制浆造纸制得的产品又大致可分为植物纤维纸、矿物纤维纸、金属纸和合成纸，其中以植物纤维纸产量最大，用途最广。植物纤维纸是指以木材、竹子、棉、麻、甘蔗渣、芦苇、稻草、麦草以及其他草类纤维为原料，制得的纸张。矿物纤维纸是指以矿物纤维制成的纸张，也包括以矿物纤维为主，掺用部分植物纤维(主要是木材)抄制的纸张。属矿物纤维纸范畴的主要产品有云母纸、玻璃纤维纸、硅酸盐纤维纸、石棉纤维纸、矿渣棉纸板等，这些产品主要用于电气绝缘、过滤、绝热、防腐、防潮等场合。金属纸问世于五十年代，或用金属纤维直接抄制，或掺用树脂、陶土等制得，主要供制造防震、隔热、高温气体过滤等设施用，也可以制成各种装饰板。合成纸有合成薄膜纸(又称塑料纸)和合成纤维纸之分。由合成树脂挤压成薄膜，经纸型化处理，即可制得合成薄膜纸。以合成纤维或合成浆为原料，或单独抄制，或与植物纤维混合抄得的，称为合成纤维纸。合成树脂和合成纤维可以是聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚丙稀、聚酰胺或其聚酯等。合成薄膜纸和合成纤维纸的主要特点是：强度高，化学性能稳定，耐腐蚀。聚酰胺及其聚酯制成的纸张，尤其适用于电气绝缘场合。陶瓷纤维纸、金属纤维纸和合成纸等均在宇宙航行设施中获得应用。

比较普遍的还是按照用途分类。根据用途，纸张大致可分为：文化用纸、工农业技术用纸、包装用纸和生活用纸四大类，其有关品种示例详见表 2-0-1。纸板也大体上分为包装用纸板、工业技术用纸板、建筑纸板以及印刷与装饰用纸板，共四大类，其有关品种示例详见表 2-0-2。

(二)纸和纸板的规格和尺寸

根据需要，纸和纸板可制成卷筒和平板两种规格。

纸和纸板的尺寸均有一定规定，也可以根据用户需要，另作特殊安排。国家标准 GB 147-59 对新闻纸、有光纸、印刷纸、书皮纸、书写纸、打字纸、绘图纸、描图纸、晒图纸等的尺寸作出如下规定：

卷筒纸宽度：1575 毫米；1092 毫米；880 毫米；787 毫米。

平板纸尺寸：880×1230 毫米；880×1092 毫米；787×1092 毫米；787×960 毫米；690×960 毫米；850×1168 毫米。

国家标准对卷筒纸的长度虽无统一规定，但一般产品均有其习惯上的做法，例如卷筒新闻纸和卷筒印刷纸的长度为 6000 米，卷筒绘图纸长度为 20 米，卷筒描图纸长度为

表 2-0-1

纸张分类示例

纸张类别	产 品 示 例
1.文化用纸	① 新闻纸 ② 书刊印刷纸：包括凸版印刷纸、凹版印刷纸、石版印刷纸、胶版印刷纸、画报印刷纸、涂料印刷纸、招贴纸等 ③ 特殊印刷纸：包括钞票纸、邮票纸、证券纸、地图纸、海图纸、字典纸等 ④ 书写纸类：包括书写纸、打字纸、有光纸、拷贝纸、薄页纸、办公纸、压感复写纸等 ⑤ 艺术用纸：包括宣纸、国画纸、水彩画纸、素描画纸、木炭画纸等
2.工农业技术用纸	绘图纸、描图纸、电气绝缘纸、电缆纸、电话纸、电容器纸、炸药卷纸、导火线纸、蚕种纸、育茧纸、卷烟纸、滤纸、仪表记录纸、蜡纸、打字蜡纸、沥青纸、防水纸、铜纸、羊皮纸、打孔电报纸、计算机用纸、感光纸、录音纸、录象纸、传真纸、蜡光纸、商标纸、晒图纸、塑料贴面纸等
3.包装用纸	① 商业用包装纸 ② 特殊包装纸：包括纸袋纸、邮封纸、鸡皮纸、糖果包装纸、水果包装纸、中性包装纸、茶叶包装纸、茶叶袋纸、香皂包装纸、防锈纸等 ③ 防油包装纸：包括透明纸、防羊皮纸等
4.生活用纸	彩色皱纹纸、印花壁纸、扑克牌纸、纸基层叠塑料、医疗卫生纸、手巾纸、毛巾纸、餐巾纸、卫生纸、白卡纸、米卡纸等

表 2-0-2

纸板分类示例

纸板类别	产 品 示 例
1.包装用纸板	草纸板、箱板纸、厚纸板、瓦楞纸板、白纸板等
2.工业技术用纸板	过滤纸板、电气绝缘纸板、提花纸板、标准纸板、扬声器纸板、防水纸板、仪表盘纸板、衬垫纸板、油毡原纸等
3.建筑类纸板	建筑纸板、隔音纸板、装饰纸板、油毡纸、纤维板等
4.印刷与装饰用纸板	字型纸板、封面纸板、封套纸板、塑料贴面装饰纸板等

40 米。还有一些卷筒纸产品的尺寸，则根据用途另作规定。例如纸袋纸宽为 1020 毫米，长 4000 米；卷烟纸宽度为 29 或 29.5 毫米，长为 4000 或 5000 米；电容器纸宽度为 95、140、240 或 280 毫米，卷筒直径为 220~260 毫米。

纸和纸板的规格和尺寸，均要能够适应用途的需要。纸和纸板的规格和尺寸的规定，既是造纸机幅门的设计依据，又是裁切复卷设备的设计依据，关系到造纸设备的标准化和系列化的实现。有关纸和纸板的规格和尺寸的详细规定，可参阅《造纸工业产品标准汇编》(技术标准出版社，1973 年)以及其他有关资料。

三、纸和纸板的质量要求

(一) 纸和纸板的质量标准

从应用需要出发，纸和纸板的质量大体上可归纳为下列七个方面的问题：

- (1) 外观质量
- (2) 物理性能
- (3) 吸收性能
- (4) 光学性能
- (5) 表面性能

(6) 适印性能

(7) 其他方面的特殊质量要求

外观质量是指尘埃、孔洞、针眼、透明点、半透明点、皱折、折子、筋道、网印、毛布痕、斑点、紫疙瘩、鱼鳞斑、裂口、卷边、色泽不一致等肉眼可以观察到的缺陷。对各种纸和纸板都应该提出一定的外观质量要求。

物理性能主要包括定量、厚度、紧度、机械强度(又称物理强度,包括抗张强度、裂断长、耐破度、耐折度、伸长率、环压强度、压断弹性、戳穿强度、弯曲性能等)、伸缩性、可压缩性、挺度、透气度(或称气孔度)、柔软性能等等。物理性能均需要通过专门仪器进行测定。

吸收性能包括施胶度(即憎液性能)、吸水性能、吸墨性能、吸油性能等。大多数纸张均经过施胶处理,取得一定的憎液性能。要求具有吸液性能或吸油性能的纸张(例如滤纸、羊皮纸原纸、浸渍加工原纸等), 则不能施胶。吸收性能可通过化学方法或物理方法,进行测定。

光学性能是指亮度、白度、色泽、光泽度、透明度、不透明度等,通过光学仪器可予检定的项目。

表面性能包括平滑度、抗磨性能、掉毛性能、耐擦性能、粘合性能、掉粉性能、瓦楞性能、粗糙度等。这些项目都需要采用专门仪器进行测定。

适印性能是印刷纸的一项重要质量要求。纸和纸板的适印性能主要取决于其平滑度、施胶度、可压缩性、不透明度、尺寸稳定性、机械强度、掉毛性能、掉粉性能等的综合反映。适印性能的问题较复杂,拟在后面另行专门叙述。

有些纸和纸板又要求具有某些特殊性能,主要有化学性能(例如防锈包装纸的耐腐蚀性能、耐碱纸的抗碱性能等),水溶性(例如保密文件用纸等),水不溶性(例如茶叶袋纸等),电气性能(例如电气绝缘纸的绝缘性能、介电性能和击穿性能;导电纸的导电性能;录音带纸的电磁性能)等等。另外,韧性牛皮纸所具有的张力能量吸收性能,又是另一特殊质量特点,可通过破裂功的测定求得。

某些包装用纸和纸板又可通过一定试验方法的考验,以确定其最终使用时的性能,例如多层纸袋纸的摔袋试验,纤维板箱的摔跌试验和转鼓试验。这些试验测得的结果属于动态强度。

我国有关部门曾对若干种主要纸和纸板产品,提出了质量标准(详见《造纸工业产品标准汇编》一书),并就检查方法提出标准程序(详见《造纸工业产品试验方法标准汇编》,技术标准出版社,1973年),这些规定都应作为检查纸和纸板质量的依据。凡是国家尚未定出质量标准的产品,可与用户协商订出产品的质量要求,必要时还可以参阅国际上有关质量指标和试验方法的各种资料。

(二) 纸和纸板的适印性能

大多数纸用于报刊、书籍、画报、宣传画、商标等的印刷;纸板也往往要印上商标、产品名称、规格、重量等等,然后制成纸盒或纸箱。显然,适印性能对这一类纸和纸板,具有极其重要意义。

目前获得较广泛应用的印刷方法有凸版印刷、凹版印刷和平版印刷三种。除此而

外,还有供印刷小批量文件资料的蜡纸印刷(俗称油印)和光、电感应复印,常用于机关、学校等部门(光电感应复印是从书刊或文件资料原件直接制得复制品的一种方法,也可以在涂有感光材料的涂料加工纸上制成副版,供复印用)。不同印刷方法对纸的质量提出各不相同的要求,因此,对印刷方法的基本知识有所了解,会有助于理解纸张质量标准的制订。在这里,拟着重就凸版、凹版和平版印刷的问题进行讨论。

凸版印刷是指从具有凸起的文字和图象的印刷版上的着墨印刷,将文字、图象转印到纸张上。从图 2-0-1 可以看到,印刷版凸起地方为着墨部位,在印刷时,油墨即将凸起的文字、图象转印到纸张上。凸版印刷应用最广泛,报纸、刊物、书籍、文件、商标等的印刷,都可以采用这种印刷方法。特殊抄制的凸版印刷纸(例如彩色新闻纸),也可以供印刷彩色图象用,但不易取得层次分明、显象清晰的效果,套色印刷质量难以与凹版印刷或平版印刷比美。

凹版印刷是在印刷版凹入部分着墨,进行印刷。印刷版凹入部分为文字、图象分布场所,印刷版表面是空白的(见图 2-0-2)。印刷版凹入部位有深有浅,着墨后其寄存的油墨层厚度不一样,这样就可以保证取得不同色调图象的印刷效果。凹版印刷主要用于钞票、地图、邮票、证券、画报等的套色印刷。

平版印刷是指从平面印刷版上进行印刷的方法。如图 2-0-3 所示,具有文字、图象

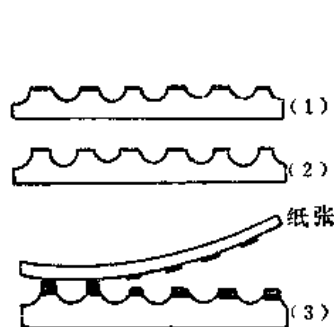


图 2-0-1 凸版印刷
(1) 印刷版 (2) 着墨后的印刷版 (3) 文字、图象转印到纸张的过程

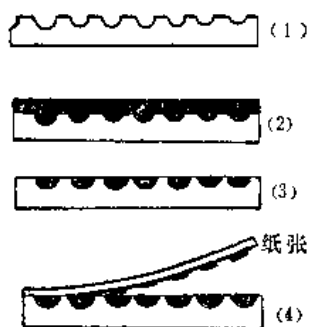


图 2-0-2 凹版印刷
(1) 印刷版 (2) 着墨后印刷版 (3) 刮除表面油墨后的印刷版 (4) 文字、图象转印到纸张上的过程

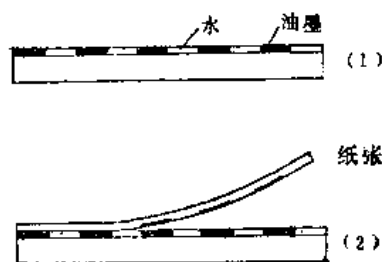


图 2-0-3 平版印刷
(1) 着墨后的印刷版 (2) 文字、图象转移到纸张上的过程

的版面跟空白的版面同处于一个平面上。在制版过程中,经过适当化学加工,使具有文字、图象的版面取得吸收油墨而又能抗拒水分的性能,空白版面则易于吸收水分而能抗拒油墨。这样,在印刷过程中,即能将着墨的文字、图象转印到纸张上。平版印刷又可分为石版印刷和胶版印刷两种类型。近年来,在画报、宣传画、日历等套色印刷上,多已趋于采用胶版印刷;石版印刷应用已日益减少。胶版印刷是指通过中间胶辊,将印刷版的文字、图象转移到纸张上的印刷方法。

纸张的适印性能不但要与印刷方法相适应,而且还要能够满足所选用印刷机械的操作需要。印刷用机械设备大体上可分为平板印刷机和轮转印刷机两大类。这两类印刷机械对纸张适印性能的要求,有很多地方是不一样的。

图 2-0-4 和图 2-0-5 分别示出平板印刷机的两种基本型式的操作原理。如图 2-0-4 所示,纸张处于压板和固定的平板型印刷版之间,依赖施于压板的压力,将文字、图象

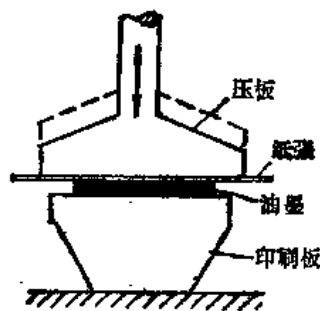


图 2-0-4 平板印刷机工作原理示意图
(固定型印刷版)

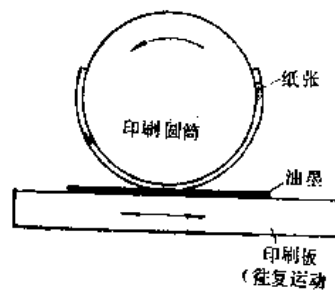


图 2-0-5 平板印刷机工作原理示意图
(往复运动型印刷版)

从印刷版的着墨部分,转印到纸张上;操作压力一般达到 $2.94 \sim 4.91 \times 10^6$ 牛顿/米² (30~50 公斤/厘米²)。图 2-0-5 所示印刷版,虽然也是平板型,但不是固定的,而是作左右往复运动。纸张由印刷圆筒带动,依赖印刷圆筒的压力,从印刷版上取得印迹。纸张逐张递送到压板和印刷版之间(图 2-0-4),或由印刷圆筒夹带至印刷版上(图 2-0-5)。由此可见,平板印刷机属间歇操作,印刷压力较大,印刷速度较慢。

近代印刷工业多倾向于运用连续操作的轮转印刷机。图 2-0-6 表示凸版轮转印刷机的工作原理。两块半圆形印刷版镶装在一个圆筒上,纸张则由另一个印刷圆筒夹带,依赖施于印刷圆筒的压力,从印刷版着墨部分取得印迹。

凹版轮转印刷机的工作原理,大体上与凸版轮转印刷机近似,但在镶有印刷版的圆筒侧面,设有刮刀,藉以刮除圆筒表面各个凸出部位的油墨(见图 2-0-7)。

图 2-0-8 表示胶版轮转印刷机的工作原理。镶在圆筒上的印刷版在取得着墨和水润湿后,将文字、图象转印到包胶印辊(简称胶辊),再由包胶印辊转印于纸张上。

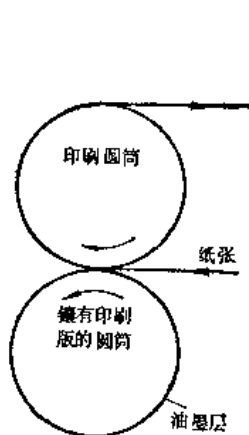


图 2-0-6 凸版轮转印刷机工作原理示意图

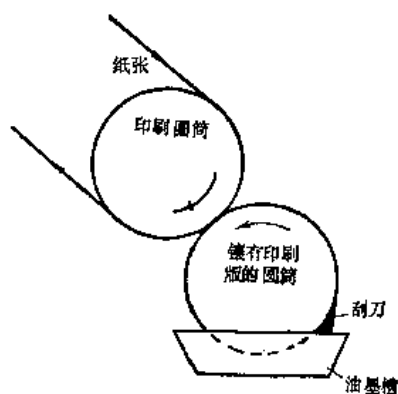


图 2-0-7 凹版轮转印刷机工作原理示意图

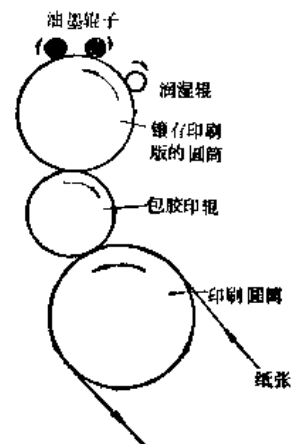


图 2-0-8 胶版轮转印刷机工作原理示意图

轮转印刷速度较快,印刷压力又较小,因此,对纸张质量的要求较严格。

从上述情况可见,采用不同印刷方法,选用不同印刷机械,对油墨性质和纸张质量都会有不同的要求。印刷油墨的流变性质(主要是粘度、触变性和胶粘性)对印刷质量起着决定性的影响;不同的印刷方法必须选择合造的印刷油墨。通常,凸版印刷和胶版

印刷多采用中等粘度、干性或非干性油墨，凹版印刷则倾向于选择低粘度、干性油墨。印刷速度较快的轮转印刷机则宜选用粘度稍高、干燥较快的印刷油墨。有关印刷油墨的性质问题，不在本书讨论范围，在这里不作详细介绍，如有必要，可参阅印刷技术方面的文献资料。现只拟就对印刷效果有较大影响的纸张质量问题，扼要讨论如次。

对印刷效果有直接影响的纸张质量主要有：表面吸墨性能、吸收性能、平滑度、松软性、挺度、抗水性能、尺寸稳定性、不透明度、掉毛和掉粉程度等。上述纸张质量在印刷过程的综合反映，称为纸张的适印性能，可通过 IGT 适印性能测定仪或其他类似测定仪予以鉴定。除此而外，印刷用纸在外观上也不应有严重缺陷，例如折子、绉纹、筋道、孔洞、针眼、破裂、卷边、色泽不均一、尺寸不整齐等等。这些外观缺陷或导致印迹不清，或引起漏印，或给印刷操作造成困难，都会直接影响到印刷质量。

为便于说明问题起见，可以将印刷着墨过程分为油墨向纸张表面转移以及油墨层在纸面获得干燥两个阶段。从印刷版吸取油墨，并将其固着在纸张表面，既与油墨性质有关，又在很大程度上取决于纸张表面的吸墨性能。一般来说，纸面上形成的油墨层，很快即会通过其油质载体的氧化聚合取得硬化，并在纸面上形成印迹；与此同时，又有部分油质载体通过毛细管作用进入纸张结构内部。印刷油墨本身的硬化以及纸张的吸收性能（吸油性能），构成油墨层的干燥全历程。

如果纸张表面的吸墨性能太强，纸面油墨层太厚，势必会使印迹模糊且缺乏光泽，严重时还会导致“透印”。表面吸墨性能太弱，则印迹又会不够清晰。为此，纸张必须具有适当的表面吸墨性能，而且要与印刷油墨性质相配合。一般来说，印刷操作压力较大，印刷速度又不太快，例如以平版印刷机进行凸版印刷，可以选用表面吸墨性能不太强的纸张。反之，如果印刷操作压力较小，印刷速度又较快，油墨层较薄，例如以轮转机进行胶版印刷，则应选用表面吸墨性能较强的纸张。

从油墨层能较快地得到干燥这一要求出发，纸张又必须具有一定的油墨吸收性能。如前所述，印刷油墨中的油质载体会有少量渗入纤维间毛孔，促进油墨的干燥和硬化。吸油性能也不能过大，否则就会发生“透印”。应该指出，近代印刷技术又有选用树脂质载体配制印刷油墨的趋势，这类印刷油墨大多是通过加热取得快速干燥，因此对纸张的吸收性能没有特殊的要求。

从造纸工艺的角度来看，纸张表面的吸墨性能主要取决于纸张的多孔性。在配浆比率中多掺用短纤维，采用游离状或半游离状打浆，增加填料用量，对纸略加施胶，均会有利于增加纸张的多孔性，可以有效地提高纸张表面的吸墨性能。反之，配浆比率中长纤维较多，采取粘状打浆，减少填料用量，使纸张经受强烈压光，则会削弱其表面吸墨性能。实践证明，在抄制凸版印刷纸时，适当增加磨木浆、草浆或阔叶木化学浆的配比，能够改进纸张的适印性能。从改进纸张表面吸墨性能出发，近年来，胶版印刷纸的抄制也已趋于掺用少量漂白磨木浆或草浆。

对印刷操作压力较大的凸版印刷和凹版印刷来说，纸张的平滑度具有较重要的意义。平滑的表面有利于从印刷版均匀地吸取油墨，有利于取得清晰且均匀的印迹。胶版印刷则对纸张平滑度没有太严格要求，这是因为胶版印刷是借赖具有弹性的包胶辊来完成油墨的转移，比较能适应较粗糙的表面情况。

纸张平滑度主要取决于抄纸加工过程，特别是纸张内部纤维分布状态、加填量以及压光程度。与一般印刷纸相比较，涂料印刷纸显然具有较好平滑度，能取得较好的印刷效果。

具有良好松软性的纸张，在印刷操作压力的作用下，得到一定程度的压缩，显示较均一的表面，有利于取得清晰印迹。但是，也要注意，纸张过于松软，缺乏必要的挺度，则在印刷操作中，又会在递纸、退纸等方面产生困难。为此，印刷用纸既要具有一定的松软性，又要挺度适当，才能满足印刷操作的需要。

跟吸墨性能一样，纸张的松软性和挺度主要取决于纸张的多孔性。多孔性小，吸墨性能下降，与此同时，松软性下降得更厉害，挺度则有较大增长。一般凹版印刷纸平滑度较大、松软性也较好，主要是由于填料含量较多。在凸版印刷纸中适当掺用磨木浆、草浆或阔叶木化学浆，不但能改进其表面吸墨性能，而且还能使其具有良好的松软性。胶版印刷对纸张平滑度既没有特殊要求，因此对纸张的松软性也没有严格的需要。

在胶版印刷过程，纸张要跟润湿的包胶辊接触，因此，胶版印刷纸必须具有一定的抗水性能。纸张的抗水性能在凸版和凹版印刷工艺上并没有很大意义。有些凸版印刷纸和凹版印刷纸也采取轻施胶处理，其目的是为了调整纸张表面的吸墨性能。

纸张的水分含量既应均一，又要与印刷车间的环境条件达到平衡状态，否则由于纸张边缘吸收水分或失去水分，与其他部位水分含量不一致，纸张即会发生膨胀或卷边。此点对胶版印刷和凹版印刷，尤为重要。通常，用于套色胶版或凹版印刷的纸张，都要在恒温恒湿的条件下，通过适印处理，使纸张水分含量均一，且与印刷环境相适应，方能供印刷用。

纸张水分含量的变化，又会影响到纸张的尺寸稳定性。也就是说，纸张的尺寸会随其水分含量的变化而变动。在套色印刷中，往往由于纸张尺寸稳定性较差的缘故，引起“错杠”的印刷质量事故。

通过粘状打浆抄制的纸张，易于因吸收水分而膨胀变形，不适用于套色印刷。纤维的径向变形大于纵向变形，如能在抄纸过程采取适当措施，控制纸张成形时的纤维定向，也能在一定程度上改进纸张的尺寸稳定性。

加填量较多的纸张，往往易于在印刷过程中发生掉粉现象，不但使印迹模糊，严重时还会导致“糊版”，这是由于印刷版粘附来自纸张表面的填料过多，无法继续印刷。用苇浆抄制的纸张，又易于掉毛，同样容易导致“糊版”。纸张的掉粉、掉毛程度，又与印刷油墨的胶粘性能有关。印刷油墨胶粘性能太强，在印刷过程中易于从纸张表面粘附填料粉末和纸毛，造成印刷版的“糊版”。纸张经过适当的表面施胶处理，可以在一定程度上克服掉毛、掉粉的缺陷。

纸张的不透明度对印刷质量有很大关系。纸张不透明度太差，势必会出现“透印”。近年来，凸版印刷纸的定量已有从 50~52 克/米²降至 45 克/米²的趋势，因此更要重视解决不透明度问题。纸张的不透明度在很大程度上取决于加填量和填料性质。

综合上述情况可见，纸张的适印性能不但与配浆比率有关，而且与打浆、抄纸加工过程也有比较密切的关系。

四、纸张与纸板的抄制

(一) 纸浆种类和配浆比率的选定

如前所述，纸和纸板的质量指标主要是根据其最终用途来制订的。为了生产出合乎使用需要的纸或纸板，必须慎重考虑纸浆种类和配浆比率的选择，据此再进一步确定抄纸加工程序，既要做到技术上可靠，又要保证经济合理。

为生产操作简便起见，可选用单一浆种，制成合乎质量要求的纸或纸板。例如，以100%硫酸盐针叶木浆抄制耐破度较高的纸袋纸；以100%漂白亚硫酸盐木浆、漂白硫酸盐竹浆或漂白硫酸盐龙须草浆，制成要求尺寸稳定性较好的特号胶版印刷纸；以100%精制化学木浆或棉浆，制得具有一定吸水性能的羊皮纸原纸；以100%稻麦草半化学浆制造一般的草纸板；以100%硫酸盐针叶木浆，抄制电气绝缘纸板等。从上述示例可以看到，浆种的选择应着重考虑到纸张质量在某一方面特殊要求，与此同时，又要全面照顾到其他方面的质量。

在实际生产中，往往又趋于采取两种或两种以上不同浆种配合使用的方法，主要是为了达到下列目的：

(1) 改进纸张质量：例如，在抄制胶版印刷纸时，以漂白亚硫酸盐木浆为主，掺用20%以下短纤维（漂白磨木浆或漂白化学草浆），能够改进其适印性能，特别是表面吸墨性能。又例如，以漂白化学稻麦草浆制成的纸张，有发脆的缺点；如能掺用部分长纤维（漂白化学木浆、龙须草浆或棉浆），可以在一定程度上克服发脆问题。

(2) 节约长纤维原料：例如，在抄制卷烟纸时，以麻浆为主，可掺用漂白化学木浆，也可以掺用漂白化学竹壳浆和麦草浆。又例如，以35~40%漂白化学木浆、25%漂白硫酸盐芒杆浆和35~40%漂白甘蔗渣浆配合，抄制二号胶版印刷纸。

(3) 降低制造成本：例如，在白纸板生产中，以漂白化学草浆或木浆为挂面层，芯层则用本色半化学草浆或木浆。又例如，在抄制二号凸版印刷纸时，尽量多掺用磨木浆或漂白半化学草浆。

(4) 增加纸幅湿强度，适应高速纸机运转的需要：例如，新闻纸的抄制一般均以磨石磨木浆为主，掺用10~25%化学木浆；近年来虽已有以预热木片磨木浆取代磨石磨木浆的趋势，但仍需掺用化学木浆，以适应900~1000米/分高速纸机的操作。又例如，以漂白化学苇浆抄制凸版印刷纸，如掺用10~20%化学木浆，即能更好地适应250~300米/分以上的造纸机车速的操作。

从上述情况可见，纸浆种类和配浆比率的选定必须在保证纸张质量的前提下，从植物纤维原料供应的实际情况出发，尽可能节约长纤维（特别是棉麻纤维，其次是针叶木浆），尽可能多地利用短纤维（磨木浆、阔叶木浆、苇浆、稻麦草浆、甘蔗渣浆等），同时又要力求降低纸张的制造成本。

(二) 纸和纸板的抄制过程

从纸浆制成纸或纸板，需要经过打浆、加填、施胶、显白、净化、筛选等一系列加工程序，然后再在造纸机上通过成形、脱水、压榨、干燥、压光和卷取，抄成纸卷。纸卷再经过分切，裁成一定规格的平板纸；或通过复卷，分卷为一定规格的卷筒纸。最

后，予以包装、入库。如有必要，又可以在分切或复卷前，通过超级压光处理（见图 2-0-9）。

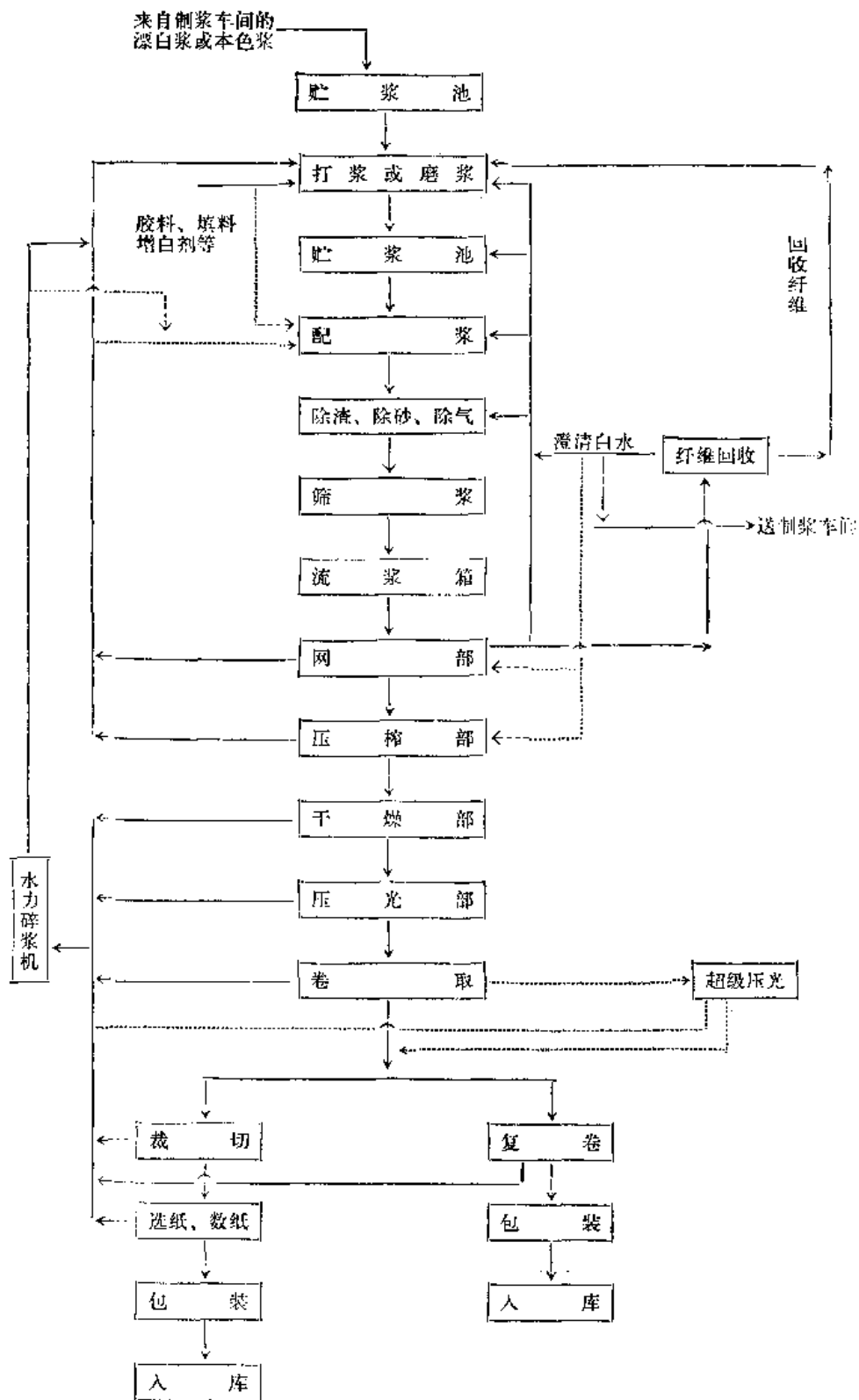


图 2-0-9 纸张生产流程简图

各类纸浆都要经过不同程度的打浆或磨浆处理，方能制得质量良好的纸张。在打浆或磨浆过程中，较长的纤维得到适当切短，与此同时，纤维又获得分丝、细纤维化以及润胀，促进纸张成形时纤维间的结合和交织。未经打浆或磨浆加工的纸浆，纤维挺硬，表面光滑，纤维与纤维之间互相粘结着，缺乏必要的结合和交织性能；如直接用以抄制纸张，则所得产品稀疏松软，纤维交织不良，纤维间没能很好地结合，组织极其不匀，物理强度很低。根据各类纸浆原来的性质，采取不同程度的打浆或磨浆处理，可以赋予纸浆各种不同特性，提高纤维间的交织能力，增强其结合力，从而保证制得合乎使用要求的纸或纸板。

对大多数纸种来说，还需要在纸浆中加用填料，藉以改进纸张的质量（特别是平滑度和不透明度）。为使纸张具有抗水性能，又必须对纸浆进行施胶。抄制白色纸张时，往往需要加用少量染料，必要时还可加用增白剂，调整漂白浆色泽，使取得“显白”效果。另外，还可以考虑加用增干强剂、增湿强剂、助滤剂、助留剂等其他添加剂，赖以分别取得提高纸张干湿强度、提高纸浆滤水性能、提高填料和细小纤维在纸张中的留着等效果。如抄制色纸，则又必须加用各种染料，取得所需颜色。

为提高纸张质量，并为减少纸张的尘埃度，纸浆在送至造纸机进行抄纸前，还必须经过除渣、除砂、筛选处理。必要时，还需通过除气，去掉混在纸浆悬浮液中的空气，这点对高速纸机尤其重要。

必须根据计划生产的纸种的质量要求，选定造纸机的结构型式。长网多烘缸造纸机适应性较大，抄得纸张质量也较好。双圆网双烘缸造纸机结构较简单，所需基建投资较少，但在产品品种适应性方面以及成纸质量上，均难以与长网多烘缸造纸机相比。近年来发展的各种新颖结构的造纸机（例如夹网造纸机等），大多是在长网多烘缸造纸机的基础上，进行改革的结果。长网大直径单烘缸造纸机和单圆网单烘缸造纸机则仅能供抄制单面光纸张、卫生用纸等品种。大多数薄型纸张，特别是卷烟纸、电容器纸等，则应在特殊结构的专用造纸机上抄制。纸板的抄制则应选用长网纸板机或多圆网纸板机；近年来出现的新型纸板机（例如超圆网纸板机等）对提高车速、提高纸板质量等方面都取得了一些成绩，这是一个值得注意的动态。

在造纸机经过压光处理的纸张，其平滑度一般只能达到 30~50 秒。如要求纸张平滑度达到 50~60 秒以上，则往往需要使纸张通过超级压光进一步加工。

在抄纸过程中，从造纸机网部排出的大量白水，含有为数众多的细小纤维、填料、胶料等，应设法予以回收，并设法回用澄清白水。这不仅是一个节约纤维原料和化学药剂、节约生产用水的问题，同时又是一个减少由于白水直接排入河流水域而造成污染的有效措施。

抄纸过程所产生的湿损纸和干损纸，也应集中予以回抄。

上述问题将在本书有关各章中分别作较详尽的阐述。

第一章 打 浆

第一节 概 述

经过净制和筛选以后的纸浆，还不宜直接用于造纸。利用物理方法处理悬浮于水中的纸浆纤维，使其具有适应造纸机生产上要求的特性，并使所生产纸张能达到预期的质量，这一操作过程，称为打浆。

由于纸浆纤维挺而有弹性，不加任何处理就用来抄纸，则在网上沉积时，难以取得均匀分布，而抄得纸张的强度势必很低。另外，未经打浆的纸浆，尚含有未离解的纤维束，这些纤维束光滑挺硬，有的太长，有的太粗，缺乏必要的切短和分丝，如用其抄纸，则所得产品显得疏松、多孔、表面粗糙、强度很低，不能满足一般的要求。经过打浆处理的纸料生产的纸，则组织紧密均匀、强度较大。

打浆的首要任务是通过机械作用给予纸料一些特定的性质，借以保证抄成纸或纸板后能取得预期的质量。在抄纸过程中，往往需要在纸浆中加用某些添加剂(例如胶料、硫酸铝、填料、色料等)，借以改进成纸质量；这些添加剂经常是在打浆过程中加入，使与纸浆取得均匀混合。

打浆本身是一个复杂细致的生产过程，它随着打浆设备的类型及打浆操作规程的不同，而有差异；同一纸料生产不同品种纸张，其操作规程也是各不相同的。因此造纸厂应该从实际情况出发，总结生产实践的经验，制订出合理和切实可行的打浆工艺操作规程，作为打浆工人控制打浆操作的依据。

打浆的简要术语：

(1) (1) 打浆度：即一些工厂仍习惯采用的叩解度($^{\circ}\text{SR}$)。打浆度只表示纸浆的滤水性能。以 2 克绝干浆，稀释至 1000 毫升，在 20°C 条件下，通过 80 目网，从肖氏打浆度仪侧管排出的水量，即为测定的结果。打浆度是表示纸料性质的一项指标，根据纸料打浆度就可能掌握纸料将来在纸机铜网上的滤水速度，同时也可能概括预知将来生产纸张的机械强度、紧度和可整理性等，所以掌握纸料的打浆度是生产中一种重要的技术控制办法。单纯打浆度一项指标并不能完全代表纸料的性质，例如，我们可以用高度切断纤维(游离状打浆)的方式来达到 45°SR ；另外，也可采用高度细纤维化(粘状打浆)，但不怎样切短的方式来达到同样的 45°SR 打浆度。两种情况最终打浆度虽然相同，可是纸料的性质却相差悬殊，所以在生产中单凭打浆度作为生产技术上的唯一的控制指标是有缺点的，尚须与其他指标如纤维平均长度等结合起来考虑，才能进行合理的打浆。

测定纸料打浆度的仪器种类很多，我国造纸厂一般均应用肖氏打浆度仪。

2克绝干浆

打浆度

缺点的测

定纸料打浆度种类很多。

叩解度。

(2) 加拿大标准游离度(c.s.f)：对纸浆滤水性能的测定有各种方法，其中以游离度和打浆度获得较广泛应用。北美国家和日本多选用加拿大标准游离度，而欧洲和我国则习惯应用肖氏打浆度，游离度与打浆度有所不同的只是测定表示方法上的差别。凡是打浆度愈大，纸料的游离度就愈小，反之亦然。一般来说，游离度愈大的纸料，滤水速度愈快。加拿大标准游离度所用测量仪器与肖氏打浆度仪近似，但测定时其绝干纤维取样量为3克，游离度与打浆度可以互为换算。

(3) 保水值：在标准状态下，用高速离心机把纸料中游离水甩出，并定量测定纸料内所保留的水量，即可得出纸料的保水值并由此而产生的纤维可塑性。这种方法是借离心分离使纤维间保存只有润胀水，而仅含有少量的纤维表面水和纤维之间的水，所以保水值指标可以说明纤维的润胀程度，从而反映出细纤维化程度，说明了纤维之间结合力的大小。

如上所述，打浆度仅能测定纸料的滤水性能，但是，打浆度的增长并不意味着纸张强度将会按直线比例增大。而保水值在打浆过程中的增长却是跟强度的增长趋于一致的。纸张强度主要取决于纤维间结合力和纤维长度，所以测出保水值，再测出纤维平均长度，就能很好地说明纸的强度。当前，一般认为测定这两个指标，比单纯用打浆度指标更能说明问题，但由于设备较贵，测定手续较麻烦，所以应用得不够普遍，目前国内纸厂生产上尚未正式采用。

(4) 湿重：湿重是在打浆过程控制中常用的一个名词，它间接地表示了纤维的平均长度。湿重的测定多采用框架法，这是使用一特制的框架，使稀释了的纸料在测定打浆度的同时流过框架，在框架上挂住纤维的重量即为湿重。纸料中纤维平均长度越长，则框架上挂住的纤维越重，也就是湿重越大。

(5) 水化度：有的工厂也用水化度作为一项指标。首先说明，在造纸工业中，“纤维水化”一词是不够严格的，因为这容易误解为纤维与水起化学作用，实际上水是与纤维上的羟基形成水桥，干燥时脱水形成氢键，并不是化学作用。

水化度是表示纤维在打浆过程中吸收结合水总量的一种方法。水化度的测定方法之一是煮沸法，即加热煮沸纸料1小时，利用加热方法去掉纤维的结合水，然后按照普通方法测定其打浆度；以不加热的纸料和加热煮沸纸料分别测得的打浆度的差值代表纸料纤维的水化度。另一种是酒精法，即将纸料放在酒精内，利用酒精将纤维的结合水置换出来，然后用普通方法测定打浆度，纸料在水中和在酒精中所测得的差值即表明纸料的水化度。上述两种测定纤维水化度的方法都存在一些缺点，容易引起误差。

第二节 打浆理论

在打浆过程中纤维没有发生化学变化。不论应用何种型式的打浆设备，主要都是使纤维产生切断、压溃、润胀和细纤维化作用，而这些都是纤维细胞壁的变化。

在植物纤维化学中已经讲过，植物纤维的构造可分为胞间层(L)、初生壁(P)、次生壁外层(S_1)、次生壁中层(S_2)、次生壁内层或称三生壁(S_3)等。根据观察分析，纤维各层细胞壁无论在物理结构和化学组成上都是不同的，因而就具有不同的特性。可以认为

初生壁是一层类似塑料的多孔层薄膜，它的厚度为 0.1~1 微米，其细纤维成网状的排列。从结构观点来看，它是各向同性的，且木素含量较高，因而它只能透水，而不能润胀，反而还会在打浆时限制次生壁中层的润胀。至于次生壁外层，它是介于初生壁与次生壁中间的一个过渡层，在物理结构或化学成分上都比较接近初生壁的性质。次生壁中层是纤维的主要部分，比其它各层都显得厚得多，它的厚度为 1.0~5.0 微米，其细纤维的排列是高度各向异性的，且与纤维的轴向呈一定的角度，因而造成纤维的纵向结合强度大，而横向的结合强度弱，所以沿着纤维的横向润胀就较为容易。次生壁中层的木素含量较低，这一情况极其有利于纤维在打浆时的润胀。次生壁内层较薄，其木素含量也较低。

一、打浆对纤维的作用

一般认为，打浆对纤维的作用和纤维的变化除压溃、揉搓、分裂以外，大体可主要分为以下五方面：细胞壁的位移和变形，初生壁和次生壁外层的破除、润胀、细纤维化和切断等。当然这几方面的作用不是截然分开的，而是交错进行的。现分述如下：

（一）细胞壁的位移和变形

一些研究者认为，在次生壁中层的细纤维能发生位移。用偏光显微镜可以很容易观察到纤维上的亮点，这就是细纤维的位移。根据观察，未打浆的纤维有位移，而开始打浆后又出现了新的位移点，随着打浆过程的进行，位移点逐步扩大，并变得更为清晰。根据用偏光显微镜拍照所得的照相图，位移可分为三种型式，如图 2-1-1 所示。

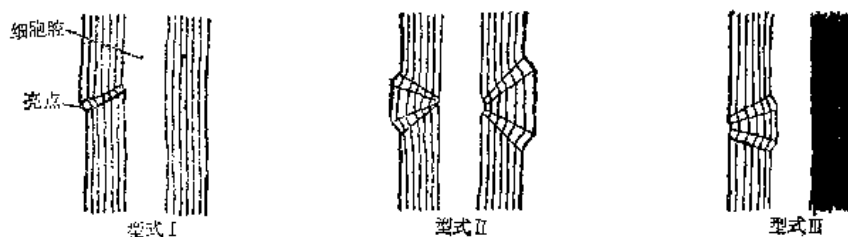


图 2-1-1 次生壁位移示意图

在图 2-1-1 中，型式 I、II 是常见的。打浆的机械作用使得次生壁中层一定位置的细纤维弯曲，这样细纤维之间空隙有所增加，以致能够进入较多的水分。当初生壁还没有被破除之前，次生壁中层发生位移和润胀都受到一定限制，可是反过来，次生壁中层发生位移和润胀又会使纤维更加柔软，从而促进初生壁的破坏。有些研究结果认为，对针叶树管胞来说，在制浆和打浆之后，位移和变形发生在髓射线的部位。

（二）初生壁和次生壁外层的破除

蒸煮和漂白后的纤维仍存有一定数量的初生壁，影响着纤维润胀。同时，它和次生壁外层都会妨碍次生壁中层细纤维的细纤维化，影响着纤维的结合力。因此需要在打浆过程中借助于机械作用把初生壁和次生壁外层破坏，以利于纤维的润胀和细纤维化作用。

对于不同种类的纸浆，初生壁和次生壁外层破除的难易程度和破除的情况亦是不尽

过程中
四倍

和漂白的

相同的。例如，亚硫酸盐纸浆的初生壁和次生壁外层破除，就比硫酸盐纸浆容易一些，其原因可能是由于在蒸煮过程中，亚硫酸盐法的蒸煮药液和硫酸盐法的蒸煮药液，无论在其化学性质特别是 pH 值，或进入纤维的途径都是不相同的。因而造成了亚硫酸盐纸浆纤维的初生壁，甚至是次生壁外层在制浆过程中受到破坏的程度，均比硫酸盐法纸浆的为高，因而在打浆过程中较易于破除。

对初生壁破除情况进行的实验研究表明，用 PFI 磨*对漂白亚硫酸盐木浆和未漂硫酸盐木浆进行打浆，经过不同打浆时间的处理后，在显微镜下观察 100 根纤维的情况，并将观察结果分为四组。

从表 2-1-1 可以看出，对于漂白亚硫酸盐浆，仅在 500 转，即稍为打浆至 16°SR 时，半数以上的纤维失掉了部分的初生壁；在 2000 转时，即约 22°SR ，纤维初生壁几乎全部

表 2-1-1 在打浆时初生壁的破除情况

在 PFI 磨中的转数	每组中纤维的根数				纤维的暴露表面 (%)	抗 张 强 度 (米)
	1	2	3	4		
漂白亚硫酸盐木浆						
0	84	12	4	6	8	1200
500	35	42	21	1	38	2850
1000	5	72	19	3	50	3900
2000	4	24	28	44	79	5800
4000	0	4	33	63	94	7200
6000	0	2	25	73	96	7800
未漂硫酸盐木浆						
0	100	0	0	0	0	1500
1000	92	8	0	0	0	3650
5000	43	36	20	0	32	6250
16000	15	31	50	6	61	8400
32000	7	25	45	23	74	10000
64000	2	7	29	62	90	11350

受到破坏。而对于未漂硫酸盐浆，初生壁的破除速度大大减慢。从表 2-1-1 又可看出，随着打浆时间的增长，纤维的润胀和细纤维化程度都有所提高，因而，纸页的抗张强度亦随之增加。

(三) 润胀

所谓润胀是指高分子化合物在吸收液体的过程中，伴随体积膨胀的一种物理现象。纸浆纤维之所以有润胀能力，主要是由于其带有羟基的关系，因而能在极性液体中发生润胀。打浆时，纤维首先吸水而发生润胀，比容有时增加，纤维细胞壁结构变得更为松弛，内聚力则有所下降，从而提高了纤维的柔软性和可塑性。与此同时，由于润胀引起内聚力的降低，就更有利于打浆机械作用对细纤维纸的进一步细纤维化，其结果大大增加了纤维的表面积和游离的羟基数目，这无疑将会在纸页干燥时增加纤维之间的接触面

* PFI 磨是一种实验用打浆设备。

积。

润胀程度同纸料的组成有关。半纤维素含量高的亚硫酸盐浆较容易润胀，而硫酸盐浆就比亚硫酸盐浆润胀程度小些。木素含量高的纸料不易润胀，因此漂白能改进这种纸料的润胀能力。

测定纸料润胀程度是比较困难的，若干种润胀测定方法均尚未被公认。现举亚米(Jayme)所介绍的离心机法，作为示例。亚米是采用未漂亚硫酸盐浆作为原料，在离心磨*(Jokromill)中进行不同时间的打浆，取出后测定打浆度，再用离心机甩掉水分，测其保水值，并以此作为润胀程度的比较，其结果如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2 打浆时间、打浆度与保水值的关系

打浆时间 (分)	打 浆 度 ($^{\circ}\text{SR}$)	保 水 值
0	16	1.870
10	22	2.231
15	30.5	2.375
22	43.5	2.554
32	56	2.689
40	72.5	2.870

(四) 细纤维化

细纤维化作用是指在打浆过程中，打浆设备的机械物理作用使纤维获得纵向分裂，并分离出细纤维，而且使纤维产生起毛现象。一般认为，细纤维化可分为外部细纤维化和内部细纤维化，上述情况必属于前者，而后者用一般光学显微镜是观察不到的。有的资料认为，在打浆过程中，纤维的细纤维化是在纤维吸水润胀以后，才开始的。由于吸水润胀，致使内聚力减少，细胞壁相邻的同心层之间的侧链有所破坏，从而给水分的进入，创造了条件，使层与层之间彼此滑动而使纤维变得柔软可塑。

许多研究者把打浆过程细胞壁的变化称为内部细纤维化。爱曼顿(Emerton)形象地提出打浆过程中纤维变形的两种型式，如图 2-1-2 所示，一种是细胞壁的弹性变形(1)，一种是塑性变形(2)。爱曼顿指出，纤维细胞壁的变形可以是弹性或塑性的。纤维的塑性变形的意义是，当受到外力的作用，细胞壁的变形达到某一平衡状态；而弹性变形是，当其变形应力消失以后，纤维将恢复到其原始形状。很显然，通过打浆处理，希望能使纤维获得塑性变形。纤维细胞壁塑性变形的能力，是随着内部细纤维化过程的进展而提高的。内部细纤维化实质上是指破坏纤维细胞壁同心层间的连接的过程，从而使次生壁中层中发生层间的滑动。为此，当纤维处于

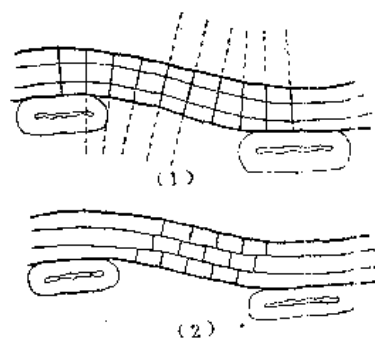


图 2-1-2 纤维细胞壁的弹性变形(1)和塑性变形(2)

* 离心磨也是一种实验室用打浆设备。

高度润胀和细纤维化状态时，纤维将会保持良好的柔韧性和可塑性，而纤维与纤维之间即可能保持优异的接触，有利于纤维的结合，和在随后纸张干燥时，得到较高的强度和紧度。

有人曾用超声波处理纤维浆料，结果打浆度上升很少，而润胀值却剧烈增加，初生壁和次生壁外层都充分保留着。用这种纸料抄出的纸页强度也很高，这足以说明超声波处理使纤维产生了强烈的内部细纤维化。

可以在普通显微镜下观察到，纤维的纵向分裂，以及由此而分丝出细纤维，这是外部细纤维化。前已述及，次生壁中层是细胞壁的主要部分，由于细纤维在其上是平行排列的，因而易于向两侧润胀，这样，如果次生壁外层未被破除，次生壁中层势必只能朝细胞腔方向作有限的向内润胀，而难于实现外部细纤维化。导致发生外部细纤维化的过程，首先有赖于细纤维之间的主要物质(半纤维素)的润胀。当有足够的润胀压力，就能使细纤维之间的氢键破裂，从而使纤维进一步朝两侧膨胀。如果没有次生壁外层的限制，次生壁中层就易于发生纵向分裂产生细纤维。但事实上，除非在一般高度粘状打浆的情况下，次生壁外层并没有全部除去。可是，也有的资料指出，次生壁外层中半纤维素含量高，例如，在针叶木亚硫酸盐纸浆中，其次生壁外层含有相当数量的木糖，它对氢键联结是特别有效的。因此，是否需要在打浆过程中除去全部次生壁外层，还是一个有待进一步研究的问题。

过去，曾认为外部细纤维化与由于纤维润胀而导致的氢键联结是发展纸张强度的最主要因素，可是这种论点不能解释为什么在打浆过程中，在大幅度外部细纤维化以前，强度已有显著增加这一事实。

纤维的外部细纤维化可提高交织能力，并能增加纤维的外表面积，有利于提高纸张强度，这是已确认的事实。

有些研究者曾测定了在木浆打浆过程中纤维外表面积的增长速度，这也大体说明了纤维外部细纤维化的增长速度。测定的结果是，对于针叶木亚硫酸盐浆，当打浆度从 14°SR 增至约 28°SR 时，其外表面积大约增长一倍，而打至 42°SR 大约增长四倍。

要对于一根完整的纤维进行纵向分裂、分丝是比较困难的。但当纤维被切断后，在其切口处则极易发生纵向分裂和分丝。切断越多，细纤维化程度越剧。但是这对于纤维长度较低的草浆，若再受到严重切断，会更加降低纤维平均长度，对提高纸张强度是不利的。

综上所述可见，纤维的细纤维化和纤维的润胀是互相促进的。吸水润胀是为纤维的细纤维化创造有利条件；反之，纤维的细纤维化又能促进纤维进一步吸水润胀。这样反复相互影响着，在整个打浆过程中，这两个作用是互相促进的。

纤维的吸水润胀和细纤维化作用对纸张的性质有着很大的影响。内部细纤维化使纤维内聚力下降，次生壁中层的层间产生滑动，增加纤维的柔韧性和可塑性。外部细纤维化则使纤维露出细纤维，提高纤维间的交织能力。增大纤维的外比表面，在抄纸的干燥过程中，就能产生更多的氢键结合而使纸张具有较高的强度和紧度，目的有助于提高填料的留着。

(五) 切断

横向切断是指纤维受到足够大的剪切力的作用，而发生断裂的现象。纤维受到横向切断，主要是由于打浆设备的辊刀和底刀的剪切作用；其次，则是由于在打浆比压相当大的情况下，纤维彼此之间产生磨断的结果。

纤维的横向切断跟其吸水润胀，有着一定的关系。在同一打浆条件下，如果纤维吸水润胀情况比较好，纤维变得较柔软和可塑，这样就不再容易受到横向切断，而是较易于起细纤维化作用。反之，纤维吸水润胀不良时，纤维挺硬发脆，则易于受到横向切断。

一般情况下，在打浆过程中不希望过度地切断纤维，因为过度切断纤维，就会使纸张的强度大大降低，因此，要严格控制纤维受到适当的切断。对于棉麻浆则由于其纤维过长，因此必须加强纤维的切断，降低纤维的平均长度，以利于造纸过程中能够抄出组织均匀的纸张。所以，在处理用于吸墨纸、滤纸、绘图纸的破布浆时，通常惯于在打浆初期先用轻刀梳解，当纤维已经初步分开以后，再用重刀迅速切短。一般说来，减少纤维的长度，可以提高纸张均匀度和平滑度，但降低了纸张的强度，特别是撕裂度，这也是矛盾的对立统一。不过对不同品种的纸张，要求切断纤维的长短也是不同的，具体情况要作具体分析。

上述五个方面的作用是指单根纤维而言的，在实际生产中，打浆处理的纤维数量是无法估量的，因而这许许多多的纤维在打浆过程中，由于种种关系，纤维受到的作用是不同的。有的纤维在打浆时可能吸水润胀和细纤维化较好，也有的纤维则受到较强烈的切断作用，这主要是由于各根纤维所受外力不同。受到磨擦、挤压等力较大的纤维，其初生壁和次生壁外层的除去较易些，因而纤维吸水润胀和细纤维化就较好；反之，有的纤维在破除初生壁和次生壁外层之前，就受到较强的剪切刀作用，纤维受到横向切断的可能性就较大。因此，在打浆过程中往往出现这样的现象：在打浆初期即有一小部分纤维吸水润胀并产生细纤维化，而在打浆后期还有的纤维的初生壁和次生壁外层尚未被破除。如果后一现象较多时，即说明打浆很不均匀。因而，在打浆过程中，应尽量采取措施，保证打浆的均匀性。

二、草浆打浆机理

在植物纤维化学的纤维形态一章中已经讲过，草类纤维组织中除含有细长、两端呈纺锤状的纤维外，还有表皮细胞、导管、薄壁细胞等，后者统称为非纤维细胞。这些非纤维细胞在麦草中约占40%（面积法）。另外，一般说来，草类纤维的长度又较短。

用普通显微镜和电子显微镜观察，发现麦草纤维细胞壁也是分为初生壁(P)，次生壁外层(S)、次生壁中层(S₂)、次生壁内层(S₃)，其中以次生壁中层最厚。麦草的薄壁细胞的细胞壁也分三层，内、外层较薄，而中层较厚。此外，导管亦分为初生壁、次生壁外层、次生壁中层、次生壁内层等几层。

多年来，一直认为草浆不易打浆，即草浆不易实现外部细纤维化。我国一些研究者近年来对麦草化学浆进行了研究，在实验室用球磨对用NaOH+Na₂S蒸煮的草浆进行磨浆，在磨浆过程中取样，用光学显微镜和电子显微镜进行观察，并在不同磨浆条件下抄成纸页测定其物理强度，以探讨在打浆过程中纤维形态的变化，试图找到使草浆较易

取得细纤维化的方法，确定草浆的较合理的打浆途径。

用普通显微镜观察，磨浆过程纤维形态主要经历以下的变化：磨浆一开始纤维就起毛，薄壁细胞则因其壁薄而开始破碎；随后纤维就掉下了一些碎片，有如剥皮一样，随着磨浆作用加剧而逐渐剥下，这些易于剥下的部分是纤维的初生壁。麦草纤维的初生壁亦是网状结构，不会像次生壁中层那样在打浆时出现纵裂状细纤维化。初生壁像一层易破裂而发脆的皮肤，或像一个套筒裹在次生壁的外面，在打浆刚开始的阶段就被剥落下来。当初生壁被剥落干净以后，纤维就显得光滑。磨浆继续进行，纤维形态变化不大，而切断逐渐增多。在磨浆过程中，纤维不断吸水润胀，渐渐变得柔软。一直到 $80\sim 90^{\circ}\text{SR}$ 时，纤维才有较明显的纵裂分丝。在此以后，纤维继续发展外部细纤维化，但此时纤维已被切得相当短，在显微镜视野内很难找到完整长度的纤维。原浆纤维长度 0.79 毫米，磨了 18 万转之后，打浆度为 93°SR ，而纤维长度被打短到 0.44 毫米，长度下降近于一半。

麦草的薄壁细胞多，在打浆过程中很易破碎，这是使麦草浆打浆度迅速升高的一个重要原因。这种由于薄壁细胞破裂而引起的打浆度升高，势必使麦草浆在抄纸过程中发生滤水困难。研究者用筛分器先把麦草浆部分非纤维细胞筛除，然后进行磨浆试验。试验结果表明，除去部分非纤维细胞后，浆张强度明显地得到改善。但是，筛除非纤维细胞后的麦草浆在磨浆过程中的纤维形态的变化，其规律与未筛除非纤维细胞前相同，也就是说，麦草纤维依然很难取得细纤维化。这就说明麦草纤维之所以难于细纤维化，并不是因为有薄壁细胞等杂细胞的存在，而仅仅是纤维本身的一种特性。

通过观察磨浆过程纤维形态的变化，可以看出，麦草纤维是可以实现外部细纤维化的，不过要相当长的打浆时间。为了对比起见，曾以相同条件进行鱼鳞松硫酸盐浆磨浆试验，观察其纤维形态变化。很显然，木浆易于细纤维化。麦草纤维为什么难于细纤维化？过去一般认为，这是由于麦草纤维的初生壁不易剥落，难于润胀，从而妨碍了细纤维化。最近的研究结果表明，麦草纤维的初生壁在磨浆开始阶段就很易剥落下来。根据观察认为，与木浆相比，麦草纤维在打浆过程中之所以难于细纤维化，主要原因是它的次生壁外层和次生壁中层之间的粘结较紧密，次生壁外层不易除掉。此外，麦草纤维次生壁外层较厚也是导致难于细纤维化的一个原因。

另外，也有人认为，草浆的整个细胞壁较厚，即纤维呈较小空腔的管状，这也可能是草类纤维难于细纤维化的另一原因。

综上所述，根据草浆的特点和生产需要，可以设想，在打浆过程中，考虑到草浆纤维较短，不宜再受到过多的切断作用，又要防止过度吸水润胀，但希望取得一定的细纤维化；草浆的非纤维细胞含量高，在打浆过程中，由于其易破碎而使打浆度上升很快，大大增加草浆的滤水困难；加之，由于草浆纤维次生壁外层和次生壁中层之间的粘结较紧密，不易细纤维化，因此，为了追求草类纤维细纤维化而加重打浆处理，看来是没有必要的。这样只会徒然增加动力消耗和降低生产能力，更严重的是，又会导致草浆在抄纸过程中滤水不良、粘压溶辊、粘烘缸，使纸页发生断头，直接影响到车速等不良后果。

有的研究者认为，稻麦草浆打浆的主要作用是使纤维润胀，并产生塑性变形，与此

同时，应辅以轻度表面活化，也就是说，使纤维表面稍稍起毛，这样就能保证在纸页干燥成形后，纤维之间依然保持有良好的联结，以保证提高纸页强度。另外，试验结果认为，麦草浆若根本不进行打浆处理，其浆张强度是较低的；但是，只要稍微打浆，使纤维表面稍为活化，打浆度只要达到 $30\sim 40^{\circ}\text{SR}$ ，浆张强度就能达到较高水平，可以满足制造文化用纸的要求。若继续打浆，强度虽然尚能继续增加，但提高的幅度不大，而动力消耗和打浆度上升引起滤水性能的下降，显然再继续打浆，其意义既不大，且又会带来许多不良影响，为此认为，草浆打浆应以轻度打浆较为合理。

三、显微镜观察

用普通显微镜和电子显微镜可以观察到纤维结构和微细结构以及在打浆过程中纤维的润胀、纵裂、细纤维化、切断等情况。

上节草浆打浆机理的一些结论就是用电子显微镜观察的结果。如前所述，利用电子显微镜对麦草纤维的微细结构进行观察，可以看到：麦草纤维细胞壁主要分为初生壁、次生壁外层、次生壁中层和次生壁内层，而细纤维在各层的排列状态是不同的。根据电子显微镜观察的结果表明，麦草纤维和木材纤维的微细结构是十分相似的，且每层的细纤维排列状态也大致相同。图 2-1-3 是麦秆纤维的初生壁。



图 2-1-3 小麦秆纤维初生壁 $\times 10000$

从图中可以看出，初生壁上有一些皱折，并可看出其初生壁的微纤维是零乱的网状结构。图 2-1-4 是麦秆纤维的次生壁外层，其细纤维成交叉螺旋状排列。图 2-1-5 是麦

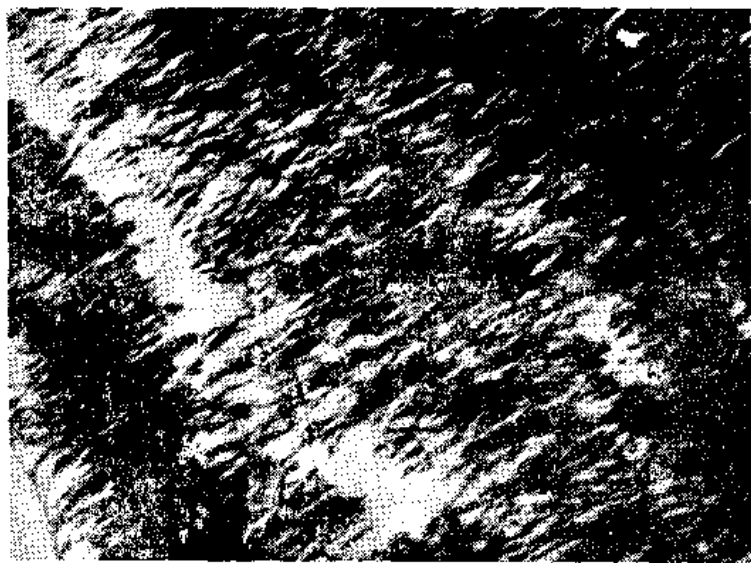


图 2-1-4 小麦秆纤维次生壁外层(S_1) $\times 10000$

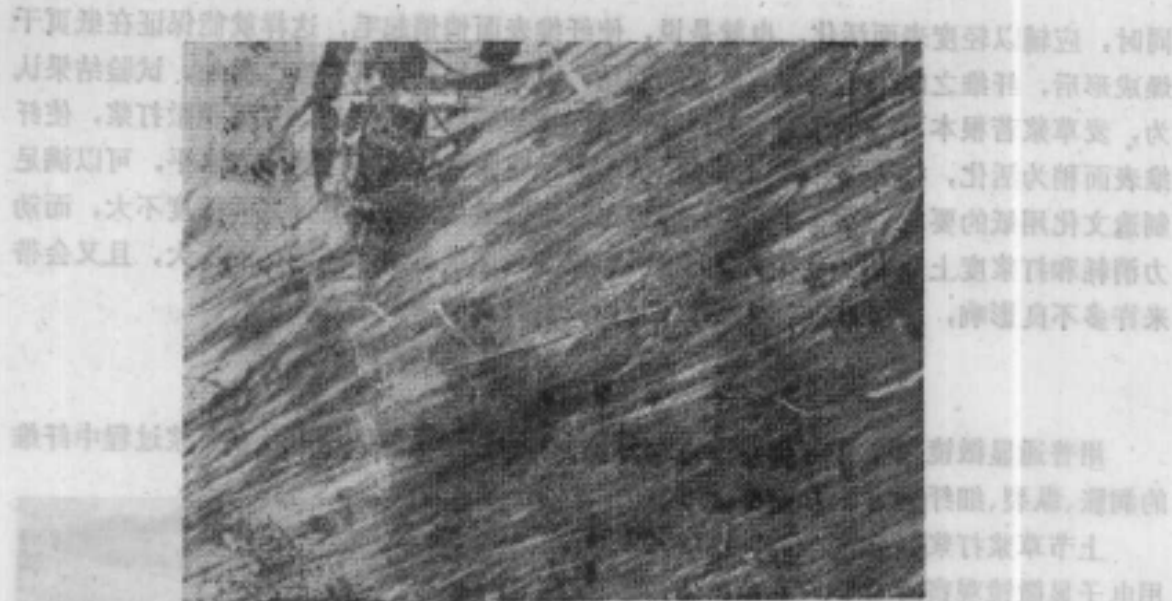


图 2-1-5 小麦杆纤维次生壁中层 (S_2) $\times 10000$

杆纤维的次生壁中层，其细纤维是近于轴间排列，箭头指示方向为纤维轴间，这一层的细纤维和轴向约成 $30\sim 40^\circ$ 左右的交角。图 2-1-6 是麦杆纤维的横切面，其次生壁外层是较厚的。有些研究者认为麦杆纤维的次生壁外层较厚，次生壁外层和次生壁中层之间的联结比较紧密，次生壁外层的细纤维成交叉螺旋排列，像个套筒一样阻止次生壁中层往外膨胀，这是导致麦草浆难于细纤维化的原因之一。



图 2-1-6 小麦杆纤维横切面 $\times 4000$

用普通显微镜也可以观察到纤维形态的变化。图 2-1-7 表示出未经打浆处理的麦杆硫酸盐浆全态，从中可以看出厚壁细胞、薄壁细胞以及表皮细胞。图 2-1-8 示出经球磨处理 3000 转后，打浆度达到 29°SR 的纤维形态图。如图示，初生壁脱落，纤维显得光滑，而纤维形态变化不大，外部细纤维化并不明显。图 2-1-9 示出经球磨磨浆进行 22 万转，打浆度已达 95°SR 的麦杆硫酸盐的纤维形态。从图可以看出，纤维的外部细纤维化发展得很好，但此时纤维已被切得相当短，在显微镜视野内很难找到完整的纤维。用打浆到这种程度的麦草浆来抄纸，显然是不适宜的。在这种情况下，纤维已遭到严重损伤，纸张的强度极低，而且纸料太粘，滤水性能极差。

图 2-1-10 示出一种未经打浆处理的鱼鳞松原浆。从图中可以看出，未经打浆处理的纤维相当光滑，类似棒状，并可清楚地看出纤维上的纹孔。图 2-1-11 为经过球磨磨浆 3 万转、打浆度达 52°SR 的鱼鳞松硫酸盐浆纤维形态。可明显地看出纤维的外部细



图 2-1-7 麦杆浆全态

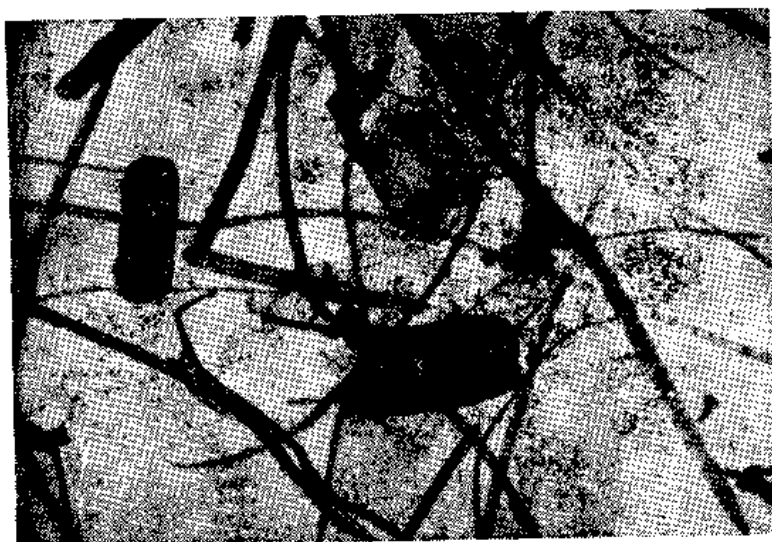


图 2-1-8 麦杆浆 29°SR×90



图 2-1-9 麦杆浆 95°SR×90



图 2-1-10 鱼鳞松硫酸盐原浆 $\times 10$



图 2-1-11 打过浆的鱼鳞松硫酸盐浆 $\times 90$



图 2-1-12 良好打浆的针叶木纤维



图 2-1-13 纤维的纵向分裂

纤维化。从以上对比即可说明，木浆比麦草浆容易产生细纤维化。

图 2-1-12 表示一种细纤维化良好的针叶木纤维。从图中可以看出，有相当数量的细纤维从细胞壁上松弛或分离出来，纤维的两端亦呈良好的帚化状态，也就是说，经过较温和长时间的打浆后，纤维呈现良好的外部细纤维化。图 2-1-13 表示经剧烈的机械处理后，纤维沿轴向纵裂的情况。图 2-1-14 为纤维受横向切断的情况。

扫描电子显微镜较普通显微镜的优点之一是有较大的景深，可以用来研究纤维结合的现象。图 2-1-15 示出一种未经打浆处理的硫酸盐木浆的纤维结合状态，如图所示，虽然纤维已经扁塌，但仍是相当挺硬，纤维之间不能紧密结合。与图 2-1-16 相比较，后者示出经过打浆处理的硫酸盐木浆纤维之间的结合情况。在这里，由于纤维的内部细纤维化，使得纤维变成柔软可塑，从而使纤维之间结合紧密。此外，在纤维上分离出一些细纤维，致使每根纤维能够更好地与相邻



图 2-1-14 纤维的切断



图 2-1-15 未打浆的硫酸盐木浆纤维之间的结合

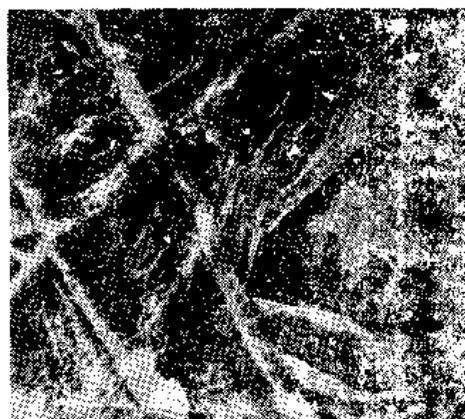


图 2-1-16 已打浆的硫酸盐木浆纤维之间的结合



图 2-1-17 未打浆的硫酸盐木浆纤维在低表面张力下的干燥情况



图 2-1-18 已打浆的硫酸盐木浆纤维在低表面张力下的干燥情况

的另一根纤维结合在一起。图 2-1-17 表示 未经打浆处理的硫酸盐木浆的电子显微镜照像图，而图 2-1-18 则示出经过打浆处理的硫酸盐木浆的纤维照像图。比较这两张图，即可看出，未经打浆处理的硫酸盐木浆的纤维是挺硬的，纤维之间不能紧密结合；而经过打浆的硫酸盐木浆的纤维表面起毛，有类似丝线状的细纤维，从而使纤维能够较紧密地结合在一起。

图 2-1-19 示出一种高粘度打浆至 97°SR 左右的纸料，用于生产很薄的电容器纸的纤维照像图，所用原料是硫酸盐鱼鳞松木浆。从纤维照像图又可看出，这种纸料的分丝，细纤维化程度是很高的。

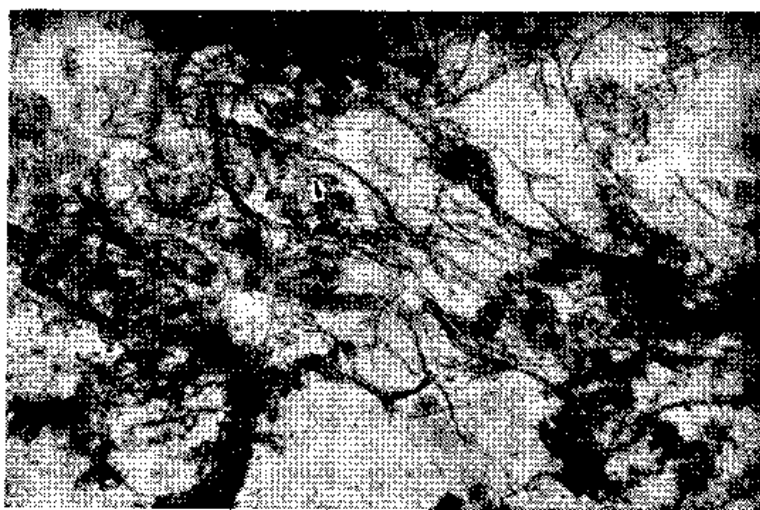


图 2-1-19 用于生产电容器纸的纸料的纤维照像图 $\times 80$

四、纸张强度、纤维的结合及其影响因素

打浆良好的纸料能够抄出强度较高的纸张。纸张强度不足，不能归因于单独纤维的强度不足，而应归因于纤维结合力的不足。一般所指的纸张强度并不是指单根纤维的强度，单根纤维的强度对纸张强度的影响是不大的。要用单一的因素来表达纸张的强度是不可能的。因为纸张的强度是复杂地取决于纤维相互结合能力、纤维长度、纤维本身强度、纤维表面状况和纤维的排列等。

如前所述，纤维在打浆过程中受到切断、分丝、润胀、细纤维化、压溃、磨解等种种作用，分离出细纤维和一部分无定形的粘状物，因为纤维吸水润胀和细纤维化，使得纤维本身变得柔软可塑。经过打浆处理的纸料不易脱水，在抄纸干燥时又会发生收缩，但成纸强度则大大增加。纸张强度是怎么获得的？如果说是来自纤维结合力，那么又是如何产生这些结合力的？

关于纤维结合力的理论研究，曾有过四种学说：第一，化学学说，即认为是化学键初价力联结。这种学说认为，纤维在打浆过程中，发生化学作用，生成一种胶状化合物，这种具有粘胶性质的水化物质包在纤维表面，干燥时将纤维结合在一起，因而显示纸张强度的增加。这种理论是不能成立的，原因是研究工作已证明，在打浆过程中纤维吸收水分，不是化学性的化合而是物理性的结合。第二，物理学说，即认为是范德华力

联结。这种学说认为，纤维结合力是来源于相邻纤维表面上细纤维的机械交织作用，或来源于水的表面张力，也可能是当纤维素分子间的距离约在 $3\sim 4\text{ \AA}$ 时，由于分子的极性，产生了范德华力，而将纤维结合在一起。但无论如何，这种学说不能解释打浆过程的全部现象，特别是为什么湿纸强度不如干纸高的原因。第三，二度胶体体系学说。这主要企图运用双电层来说明纤维的吸水润胀和细纤维化，但始终没有真正接触到打浆作用的实质，为此也是不能说明问题的。以上三种学说都是不全面或不正确的。到目前为止，仅有第四种学说，即氢键学说能比较准确地说明打浆的实质。

在讲氢键学说之前，首先讲述表面张力问题。在干燥纸页时，表面张力是纤维结合在一起的重要因素。由于在干燥时水被蒸发掉，表面张力产生一种很大的力量，使纤维相互靠拢，并紧密地连接起来。未经打浆处理的纸料，其纤维较为粗糙挺硬，表面张力不足以产生很大收缩使纤维相互靠拢。经过良好打浆，纤维得到充分润胀、细纤维化后，其柔软性和可塑性大大增加，纤维的细度也有所增加，并露出细纤维，从而增大比表面积。这样在干燥时，表面张力就足以使纤维与纤维彼此紧密地靠拢，为氢键结合创造了必要的条件。

氢键理论认为，打浆过程的机械作用增大了纤维的外表面，游离出大量羟基，促进纤维表面的吸水性能。当水分蒸发时，相邻纤维间的羟基通过氢键互相结合，从而将纤维结合在一起，这就是纸张强度增加的主要原因。

纤维的这种氢键结合首先是通过水的作用形成水桥，将羟基组成适当的排列，以后在干燥脱水时氢键结合更为容易。

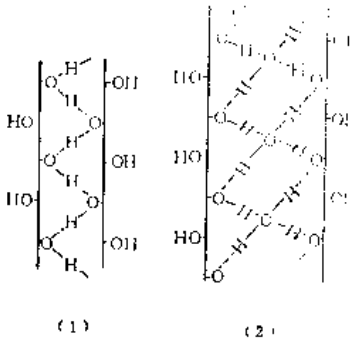


图 2-1-20 氢键结合(2) 与水桥(1)

纸张在干燥时，由于水的表面张力将纤维拉拢靠近在一起，最终形成了氢键结合，如图 2-1-20 所示，其结果即表现为纤维之间的结合力。氢键结合的条件是，只有在相邻羟基的距离小于 $2.55\sim 2.75\text{ \AA}$ 范围之内才能产生。由此可见，表面张力对氢键结合显得特别重要，而表面张力的大小则又与纤维直径有着直接关系。当纤维直径较小，其表面张力较大，纤维之间的结合力也较大。表 2-1-3 示出纤维直径与纤维之间吸引力的关系。

表 2-1-3 纤维直径与纤维之间吸引力的关系

纤维直径 (厘米)	纤维之间吸引力 (公斤/厘米 ²)
3×10^{-3}	5.9
2×10^{-4}	36.8
2×10^{-5}	158

从上表可以看出，在打浆过程中，如细纤维化程度较强，则抄出来的纸在干燥过程中收缩性大，强度亦大，并且由于游离出更多的羟基，有利于更多氢键结合的形成。

总的来说，纤维结合力除了氢键作用外，还受到其他作用，如化学键初价力，极性

键吸引力、表面交织力等，其中化学键初价力可能性不大；极性键是存在的，但很不牢固；表面交织力除机械木浆、精制浆和纤维较长的棉浆外，也不很重要，为此，最主要的还是氢键结合力。

上面谈到的氢键、极性键等都是在纤维之间靠得很近才能存在的，即仅在距离小于几个埃时，才能起作用。由此更可看出，纤维柔软性的重要，只有柔软的纤维才能靠得较近，促进结合力。

综合上述情况可以认为，纤维的吸水润胀、细纤维化以及比表面面积的增加，都会直接或间接地促进纤维间的氢键结合，从而提高纸张的物理强度。润胀、细纤维化和暴露表面三者，那一方面起着主导作用，研究工作者各持己见，意见上尚有较大分歧。例如，有人曾单独用超声波处理纤维纸料，结果是打浆度上升很少，润胀值却剧烈增加，初生壁和次生壁外层大多获得保留，抄出的纸张强度很高。因此，认为润胀是起着主导作用的主要方面。同样，也有人认为，麦草纤维不易发生细纤维化，因此，麦草浆的强度发展也是主要依靠纤维的润胀。

五、影响纤维结合力的因素

如前所述，纤维在打浆过程中所受到机械作用，是影响纸中纤维结合情况的主要因素，因为纤维的外表面面积和氢键数量均在很大程度上取决于打浆操作。但是，也还应该指出，纸张的纤维结合力的大小又与纤维的化学组成、物理性质以及纤维的排列等情况有关。也就是说，纤维的木素、半纤维素、纤维素的含量以及纤维长度和非纤维细胞含量等，也都会在一定程度上影响到纤维的结合。现就这方面的情况分述如下：

（一）打浆的影响

在打浆过程中，纤维所受到机械处理的作用，是影响纸中纤维结合情况的主要原因。前面已提到，没有经过打浆的纸料是很难抄出符合质量标准的纸张，原因可能有以下几点：（1）没有经过打浆的纸料，其纤维外表还有一层妨碍纤维吸水润胀和细纤维化的初生壁和次生壁外层，阻碍了纤维进一步的结合；（2）未经打浆的纤维比较粗大，显得挺硬，因此也就妨碍了干燥时彼此间的接近程度；（3）更主要的是纤维外表面不大，因此纤维间结合力较差。由此可以看出，打浆对纤维结合力是很重要的，应认真地加以控制。

（二）纸料种类的影响

不同种类纸料，无论是在物理结构和化学组成都是不相同的，一般说来，化学木浆的纤维结合力最大，棉浆次之，机械木浆最差。棉浆的纤维结合力虽不大，但由于棉浆纤维较长，本身强度又好，加之纤维之间表面交织力较大，因而抄出的纸张强度也较高。

（三）半纤维素的影响

含半纤维素多的纸料容易打浆，抄成的纸张强度也高；反之，半纤维素含量少的纸料打浆时则感到困难，纸的强度也低（棉浆例外）。半纤维素含量多的纸料，打浆时容易吸水润胀，增加了纤维的比表面积和结合面积，因此提高了纸张的强度。尤其是打浆初期，含半纤维素较多的纸料其耐破度和抗张强度的发展特别明显。

半纤维素之所以具有这些作用，原因是由于半纤维素的分子链比纤维素短且更为亲

水，使得纤维在打浆时容易吸水润胀和细纤维化，经抄纸干燥时与邻近纤维表面能产生更强的结合。半纤维素主要是通过羟基互相结合，显示出一种类似胶粘的作用，所以能提高纸张强度。

应该指出，在纤维中的半纤维素并不是全部都有效，也不是全部聚戊糖都是有效的。实际上碱溶性半纤维素更能代表纤维吸水润胀的关系。实践说明，碱法浆不如亚硫酸盐浆易打浆，其原因是碱性蒸煮剂的溶液溶出了碱溶性半纤维素，使得纤维在打浆时不易润胀，容易遭到碎裂。

对纸张强度来说，并非纸料的半纤维素含量越高越好。这是因为半纤维素太多的纸浆，打浆时吸水润胀过快，纸料还没有达到应有的强度时，打浆度已经提得很高了，这种纸料抄成的纸必然是透明发脆，反而强度低。另一方面，半纤维素多，即短小半纤维素链的百分率大，这样又会降低结合力的内在强度(即纤维强度)。因此，对于纸浆中半纤维素含量以多少为最适宜，还得参照纸张要求的性质，即以能够符合纸张质量标准来决定。但在一般情况下，用一般原料生产文化用纸，为了节约原料，提高制浆得率，在蒸煮和漂白过程中应尽量保留半纤维素。

(四) 纤维素的影响

纸料的半纤维素含量达到一定数值后，纸的耐折度和耐破度反而有所降低，可能是由于纸料中纤维素组成起着作用的缘故。一般说来，纤维素聚合度高的纤维，其抗张强度大，打浆时不很容易切断，所以在它被切到适当长短时，纤维已经获得充分疏解和细纤维化，纸张强度也随而增高。由于这种原因，凡是要求强度和紧度大的纸类，例如复写纸、电容器纸、钞票纸等，宜用纤维素聚合度高的纸浆作为原料；反之，如果希望纸质松软，如印刷纸，则应采用纤维素聚合度低的纸浆。但棉浆例外，棉浆纤维聚合度高，可是在水中的润胀较一般植物纤维差，所以不易分丝细纤维化，但纤维较长，纸的强度也高。

(五) 木素的影响

含木素多的纸浆亲水性极低，不易打浆，纤维之间的结合力不大，结果纸的紧度不仅很小，而且纸的强度也很差。另外，在植物纤维化学中已讲过，木素的分布在纤维中初生壁和次生壁外层较多，这将会影响纤维的润胀、细纤维化和纤维间的结合力。

(六) 纤维长度的影响

以往曾认为纤维长度是决定纸张强度的主要因素，凡是纸料纤维越长，成品纸的强度必然越高，这种看法并不完全正确。无可否认，纤维长度是影响纸张强度的因素之一，而且也是相当重要的因素，尤其是对撕裂度影响最大。但是就它的重要性来说却次于纤维的吸水润胀和细纤维化作用，因为真正足以防止成纸中纤维相互滑动的是纤维之间的结合力，所以应当说主要决定纸张强度的是纤维结合力。当然，在纤维结合力增长到了一定程度之后，纤维长度就显出它的重要性。纤维越长，当纸页受到力的作用时，纤维彼此之间滑动机会就越小，所以这类纸浆一般具有较高的结合力。至于机械浆，纤维长度更是非常重要的。

(七) 胶料、明胶、填料的影响

纸料中添加松香、石蜡、明矾和填料等一类疏水性物质，都会影响纤维之间的结合

力，只不过影响程度不同而已。一般认为，使用松香胶施胶的结果，会降低纸张强度尤其是对高度打浆的纸料，纸的强度下降更为厉害。纸料中加入胶料、明矾、填料等物质后，为什么会降低纸的强度呢？原因是纤维间如有上述无机物或有机物时，将使纤维与纤维隔开，减少了彼此之间的接触表面，影响到纤维的结合力。

但是，纸料中如果加入的是淀粉、蛋白质、植物胶等一类高分子量的亲水性物质，其结果不但不会降低纸的强度，反而可以增加纸的强度。淀粉之所以能够增加纸的强度，主要是因为它本身也有和纤维素一样的极性羟基，由于羟基通过氢键结合，较之单纯纤维与纤维的结合更为牢固，所以可能引起纸张强度的增加。淀粉施胶过的纸张放到水中之后失去强度这一现象，也足以说明它是通过氢键结合的。

六、打浆与纸张性质的关系

在打浆过程中存在着一对矛盾，一方面增加了纤维的结合力，另一方面却降低了纤维的平均长度，这一对矛盾一直存在着，而对纸张的某一指标来说，某一方面起着主导作用，而对另一指标，也可能另一方面起着主导作用，这就需要根据具体情况进行具体研究、具体分析。

一般来说，由于打浆增加了纤维结合力，降低了纤维平均长度，所以它一方面能够提高纸的抗张强度、耐破度和耐折度，同时增加了纸的平滑性、挺硬性和紧度，但是另一方面却降低了纸的撕裂度和不透明性以及增加纸的收缩性。举例来说，透明性对印刷用纸来说是不利的，但在制造要求透明性高的描图纸时，却又正是所需要的。因此作为打浆工作者来说，必须根据客观实际的需要，善于运用和控制打浆的作用，尽量避免它对纸张所产生的不良影响。

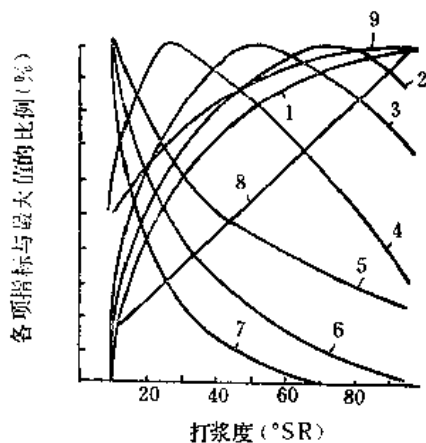


图 2-1-21 打浆与纸张物理性质的关系

1—纤维结合力 2—裂断长 3—耐折度
4—撕裂度 5—平均纤维长度 6—吸收性
7—透气度 8—收缩率 9—紧度

而纤维结合力的增大则取决于纤维比表面的增长，取决于纸料的打浆度。

通常，在打浆初期裂断长上升很快，以后渐渐缓慢下来，并且升到一定数值之后，裂断长即会下降，出现转折现象。当打浆比压较大时，这一转折现象更为明显。产生转折的原因，主要是受到纤维结合力和平均纤维长度两者变化的影响。在打浆初期，主要

为了进一步掌握打浆过程起见，现采用含 100% 纤维素的纸料，观察在打浆过程中纸张物理性能的变化，如图 2-1-21 所示。

从图中可以看出，随着打浆的进行，纤维结合力不断增长，而平均长度不断下降，并且在打浆初期，纤维结合力的上升和纤维长度的下降是以较快的速度发展着的。至于后期，两者速度均逐渐减慢，由于在打浆过程中两者发展的速度不同，因而对纸张性质各自产生不同程度的影响。现就各种指标分别讨论如下：

(一) 裂断长

裂断长是纸和纸板抗张强度的一种表示方法。纸张裂断长的提高有赖于纤维结合力的增长，

影响纸张裂断长的是纤维结合力，随着打浆时间的延长，纤维结合力虽然也继续有所提高，但是由于纤维平均长度的继续下降，也会影响到裂断长的变化。这种对比关系，自然就会使纸张的裂断长产生转折点，而转折现象产生的早晚则与打浆方式有密切的关系。此外，纤维本身的强度和在造纸机铜网上形成纸张的过程，也会在一定程度上直接影响纸张的裂断长。

（二）撕裂度

撕裂度与裂断长有所不同，影响纸张撕裂度主要是纤维平均长度，其次才是纤维结合力、纤维强度等。不论用那种纸料抄出的纸，在纸料打浆度还不很高的时候，撕裂度一般都是随着打浆度的增高而增大，这是由于纤维结合力的增长所致。也就是说，在这个阶段，纤维比表面已有很大的增加，因而纤维结合力的增加所起的作用大大超过纤维长度减少的作用，所以撕裂度曲线出现上升趋势，但因纤维长度是影响撕裂度的最主要因素，所以在纸料打浆度并没有提高多少的情况下，撕裂度就已经达到了最高点。其后，随着纤维长度的继续减小，并转为主导作用的方面，撕裂度即发生转折下降。从图 2-1-21 可以看到，转折点出现最早，这就说明，纤维平均长度是影响撕裂度的主要因素。

（三）耐折度

不论那一种原料的纸料，纸张的耐折度都同样是随着打浆的进行而有所提高。其发展趋势又与裂断长性质相似，即在达到最高值以后出现转折。纤维结合力对耐折度的影响，不如对裂断长影响那么大；但是，纤维平均长度却对耐折度有很大的影响，具体表现在耐折度很容易达到转折点，也就是说，在纸料打浆并不太高的情况下，耐折度即发生转折。

为了保证纸张具有较高的耐折度，打浆时应注意提高吸水润胀和细纤维化的程度，并尽可能避免纤维的切断作用。因此采用轻刀打浆是适宜的。耐折度除了受纤维平均长度和纤维结合力两者影响之外，还与纤维的弹性有关。纤维弹性大，纸的耐折度高，而纤维的弹性又与纸张的含水量有密切的关系。当水分含量较多时，耐折度随着弹性的增加而增加，但当水分含量达到一定限度后，又会使纤维结合力下降。不过一般的情况是，纸张最初一定限度内增加含水量时，纤维结合力损失不大，纸的耐折度将会随着纤维的弹性增加而上升，待含水量达到一定数量以后，由于增加纤维含水量所增进的纤维强度，对耐折度来讲，不如因为纤维之间产生大量水桥而使结合力下降的影响之深，这当然就使其产生转折现象。

从图 2-1-21 中以及从以上的解释均可看出，裂断长、撕裂度和耐折度三项指标的曲线形状相似，所不同的是转折点出现的迟早问题，其中以撕裂度的转折点出现最早，这是由于纤维长度对撕裂度的影响最大的缘故。

（四）耐破度

纸张耐破度的变化情况一般与裂断长相似，主要影响它的因素也是纤维结合力，其次才是纤维平均长度、纤维本身强度和纤维交织情况等。

因为影响耐破度和裂断长的因素完全相同，表现在曲线形状上也很相似。如图 2-1-22 所示。但是，耐破度曲线后部有下降较严重的现象，则是由于测定耐破度时，

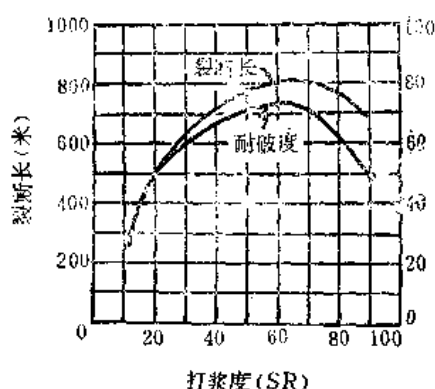


图 2-1-22 裂断长，耐破度与打浆度的关系

纸张不仅受到拉力，同时也受到撕力作用，所以在打浆度比较高的时候，耐破度下降程度大于纸张的裂断长。

(五) 透气度

纸张的透气度是随着打浆度的增长而降低的。在打浆过程中，纤维结合力逐渐增大，纤维外表面积亦逐渐增加。因此透气度曲线下降极快，如图 2-1-22 所示，接近于抛物线的形状。

纸张透气度一般在 $70 \sim 90^\circ \text{SR}$ 时接近于零，即是说在这时已经完全羊皮化了。纸张达到完全不透气的时间迟早，首先决定于纸料种类。以含有较多半纤维素的草浆或本色化学木浆制成的纸张，其透气度一般是比较低的；会有较多机械木浆的透气度则较大，其原因是机械木浆含有较多的木素，而木素的存在是不利于纤维的润胀作用，结果成纸就显得疏松多孔。

(六) 吸收性

纸张的吸收性也是随着打浆度的增长而降低，打浆对吸收性的影响情况基本上与透气度相同。这是由于以打浆度高的纸料抄成的纸一般结合较为紧密，纤维的比表面积较大，致使气孔大为减小，结果吸收性能大为降低。吸收性的大小又与纤维的纯度和半纤维素含量有关。纸料中 α -纤维素含量高，吸收性能大；反之半纤维素含量高的纸料，由于在打浆过程中容易分丝和细纤维化，所以吸收性能低。

(七) 不透明度

影响纸张不透明度的因素主要是纤维结合力。打浆度越高的纸料，纤维在纸机上干燥时由于表面张力的作用极易靠拢在一起，促进氢键的形成和纤维结合力的提高。与此同时，纸张发生收缩，并降低了纸的透气性和不透明度。若纸页中纤维之间存有空气，使光线在其里面受到多次折射，也会提高纸张的不透明度。打浆度越高，折射面越小，纸越透明，而不透明度越低。为此，在生产不透明度大的纸张时，宜于采用含半纤维素少的纸浆作为原料，并且纸料的打浆度要低一些。

(八) 紧度

纸张紧度对纸张性质和物理强度均有一定的影响。紧度大的纸张，其透气度必然较低，不透明度较差，同时，在一定范围内其裂断长和耐破度均较高，而撕裂度则较小。

随着打浆度的上升，所抄成的纸张的紧度和伸缩性也不断增加。据一些研究工作报导，打浆度与纸张的紧度等性质的关系如表 2-1-4 所示。

由表 2-1-4 看出，随着打浆时间的增加，纸料的打浆度开始增加得很快，随后逐渐减慢，这是由于到达打浆后期，纤维已高度吸水润胀和细纤维化，变成很粘的纸料，并且柔软可塑，进一步吸水润胀和细纤维化比较困难，但抄成的纸张紧度和密度大大地增加，透气度和多孔性则大为降低。这也是一些薄页纸(如电容器纸、防油纸等)，要求高粘状打浆、打浆度很高的原因。

表 2-1-4

打浆度与纸的性质关系

序 号	打浆时间 (小时)	打 浆 度 (°SR)	纸 的 性 质			备 注
			厚 度 (毫米)	强 度 (公斤/厘米 ²)	伸 长 率 (%)	
1	0	15.2	0.35	0.11	3.0	试验的物料是漂白亚硫酸盐浆，抄出的纸的定量是相同的
2	1	21.5	0.19	0.67	3.1	
7	7	82.0	0.12	2.75	3.5	
8	12	86.0	0.11	4.00	3.1	
10	24	89.5	0.10	4.40	3.2	
12	46	96.0	0.08	4.00	6.9	

影响纸张紧度的因素很多，最主要的是纸料的打浆度、打浆方式、纸料种类、半纤维素含量、网上脱水情况以及抄纸湿压和压光等。凡是纸料打浆度越高，半纤维素含量越多，则纸张紧度越大。

(九) 收缩性

纸张的收缩性在很大程度上取决于打浆特性和纸料种类。一般说来，凡纤维长而又经过良好打浆的纸料，抄成纸后，收缩性都是比较高的。伸长率实际上是纸张拉断时的极限应变，伸长率越大表示纸的韧性越好，纸张就不易破损。这一指标对纸袋纸等具有重要的意义。例如，对静态强度和动态强度要求高的水泥袋纸，除了需要纤维长，强度高的硫酸盐纸浆作为原料外，还要求使用长纤维打浆方法，并在纸机上也采取适当措施，尽量提高纸的收缩率，从而增加了水泥袋纸的韧性，降低在装袋、运输、搬动时的破损率。

另一方面，如在生产要求伸缩变形不大的纸种，如胶版印刷和画报纸，除了在纸料品种的配比方面加以研讨外，还要特别注意到打浆工艺的制订，务必要做到打浆时间短一些，纤维长度不能过长，打浆度不宜过高，借以保证成品纸张取得较小的伸缩变形。

第三节 打 浆 工 艺

一、打浆方式

如前所述，在打浆过程中，纤维主要发生细胞壁的位移和变形、初生壁和次生壁外层的破除、纤维的吸水润胀和细纤维化、横向切断、压溃、揉搓等作用，而这些作用在打浆整个过程中是同时发生，而绝不是孤立出现的。

以横向切断纤维为主的打浆方式称为游离状打浆，而以纵向分裂纤维使之细纤维化为主的，则称为粘状打浆。在实际打浆过程中，切断和分裂纤维两者是同时出现的，问题只是程度上的差别，所以我们设想打浆只有横切纤维的作用，而没有纵向分裂纤维的现象，是不可能的。反之，如果希望打浆对于纸料纤维只有纵向分裂，而不允许有横向切短作用，也同样是是不可能的。

经过游离状打浆的纸料在抄纸时，在铜网上滤水较快，成纸质量相对来说是比较疏松多孔。而经过粘状打浆的纸料，由于纤维在打浆时细纤维化作用较好，纤维变得柔软

可塑和有滑腻的感觉，纸料在抄纸时，在铜网上滤水较慢，成纸的紧度较大。

根据以上所述，可以按照对纤维切短和分裂程度的要求，将打浆大体分为下列四种方式：（1）长纤维游离状打浆；（2）短纤维游离状打浆；（3）长纤维粘状打浆；（4）短纤维粘状打浆。而在实际打浆操作中，游离状至粘状打浆之间，还有半游离状打浆，半粘状打浆等；同样，长纤维打浆是指以长纤维为主，而并没有排除短纤维打浆的同时存在。

长纤维游离状打浆方式要求分散纸料成为单纤维，纤维只是适当地切短，因此其打浆时间较短。长纤维游离状打浆生产的纸料在网上容易脱水，成纸组织匀度欠佳，缺乏透明性，表面不甚平滑，但成纸具有一定的机械强度。以前一直认为这种打浆方式适用于包装纸和工业滤纸的制造，但近年来则趋于认为包装纸应采用低打浆度，长纤维粘状打浆。

短纤维游离状打浆方式要求在分散纤维的基础上，同时高度切断纤维。这种纸料脱水也较容易，但纤维交织能力相当差，而成纸的组织较均匀，吸收能力甚强。短纤维游离状打浆方式生产的纸料适宜于抄制滤纸、吸墨纸、火柴盒纸以及其他一些要求吸收性能强和组织匀度高的纸类。

长纤维粘状打浆要求将纤维高度分裂和细纤维化，而尽可能避免纤维遭到横向切断。在抄纸时，纸料必须加水稀释至较低浓度。长纤维粘状打浆的纸料适合于生产强度大的高级薄纸，例如高打浆度的卷烟纸、电容器纸以及电话用纸等。电容器纸的打浆应打到打浆度达到 90°SR 以上，但纤维的长度也不应过长，以免影响纸张的匀度。水泥袋纸用纸料，也应采用长纤维粘状打浆，但打浆度只要求达到 $26\sim 30^{\circ}\text{SR}$ 。

短纤维粘状打浆则要求一方面将纤维高度分裂和细纤维化，同时又对纤维进行适当的切断作用。这种纸料有滑腻感，更难于脱水，但易在网上形成组织均匀的湿纸。成纸吸收性小，并有相当大的强度。短纤维粘状打浆的纸料适合于生产一般证券纸、电缆纸等。

在实际操作过程中，在游离状打浆到粘状打浆之间还有半游离状、半粘状打浆等。例如，对于一般的胶版印刷纸，一方面要求一定的打浆，使纸料具有一定的细纤维化，以提高成纸的强度；另一方面又要控制打浆度，以避免印刷时收缩变形严重，为此其打浆度一般控制在 $30\sim 40^{\circ}\text{SR}$ 。

二、影响打浆的因素

打浆的影响因素很多，例如打浆比压、打浆时间、纸料浓度、纸料性质、刀闸距离、刀的特性、打浆温度、纸料 pH 值以及打浆时添加物料等都足以影响打浆。为了正确考虑打浆的内在联系，合理地制订打浆工艺规程，打出合乎纸张质量要求的纸料，因此有必要对上述因素加以讨论。

（一）打浆比压

单位打浆面积上所受的力称为打浆比压。打浆比压是决定打浆方式的首要因素。也就是说，打浆究竟是属于游离状打浆或粘状打浆的范畴，先决条件在于打浆比压。正确地决定比压，也是能否缩短打浆时间，提高纸料质量和节约电耗的关键。

在纤维润胀以前迅速落下刀辊，亦即采用较高的打浆比压和较小的刀距，在较低浓度下将纤维切短，这就是游离打浆；反之，粘状打浆是在较高浓度、较低打浆比压的情况下进行的。在粘状打浆过程中，纤维获得较充分的润胀，具有一定弹性，因此大部分纤维只受到揉搓和压挤，仅有小部分被切断。

在一般情况下，减小打浆比压可以避免过多切断纤维，但是降低比压的结果，又会延长打浆时间，所以一般打浆都是在尽可能不影响纸料性质的条件下，适当增加比压，因此提高打浆效率和节省动力消耗。打浆所用的比压大小，决定于纸浆种类和纤维性质。以不同纤维原料种类生产不同纸张时，所要求的打浆比压范围大体概括如表 2-1-5 所示。

表 2-1-5 打浆比压与纸张种类的关系

纤维原料种类	纸张种类	打浆比压(公斤/厘米 ²)
未漂亚硫酸盐木浆	2号及3号书写印刷纸	3~5
	中等紧度的薄型文化用纸	1~3
	80~100克/米 ² 的打孔卡片纸、书皮纸	5~7
漂白亚硫酸盐木浆	复写纸类薄纸	0.5~1.0
	1号及2号书写纸、印刷纸	2~4
	绘图纸、地图纸、图画纸、吸水纸	5~16
未漂硫酸盐木浆	电气绝缘纸	4~8
	牛皮纸、纸袋纸	10~12
破布浆	吸水纸	3~8
漂白亚硫酸盐苇浆	印刷纸	2~7
漂白碱法草浆	有光纸、印刷纸	2~5

除了比压大小之外，达到指定打浆比压的时间快慢也很重要。一般说来，如果采用的是逐步增加打浆比压的办法，其结果是纤维吸水润胀程度大，切断作用小。这种打浆方法适用于要求强度较高，而伸缩性不占重要地位的纸类。如果延长打浆时间，这种打浆办法适于生产薄页纸。相反，如果采用迅速增加打浆比压的办法，结果是纤维润胀分裂作用小，切断作用大，这种办法适用于一般书写纸和印刷纸的打浆。如果打浆一开始，就急速增加比压，打浆作用以切断纤维占绝对优势，这种打浆办法只能应用在滤纸、吸墨纸等一类要求吸收性能较好的纸类。

一般说来，飞刀与底刀之间比离较大，刀片之间的纤维层较厚，每根纤维所受作用力较小，即打浆比压较小。所以粘状打浆时，刀间距离不能小于0.08毫米，否则刀片会受到过多的磨损。

(二) 打浆浓度

纸料的浓度对打浆的质量有很大的影响。根据近年来打浆工艺的发展，打浆浓度可分为低浓、中浓、高浓三种，有人认为10%以下的浓度称为低浓打浆，10~20%的浓度称为中浓打浆，而高浓打浆的浓度在20~30%甚至更高。

在低浓打浆的范畴内，打浆浓度较高，则进入飞刀与底刀之间的浆层较厚，纤维数量增多，有利于促进纤维间的挤压和揉搓作用，有助于纤维分散、润胀和细纤维化。同

时,单根纤维所分担承受的压力也相应减小,从而减少了纤维的切断作用。由此可见,打浆浓度较高,适合于粘状打浆的要求。例如,某厂生产水泥袋纸在用锥形精浆机进行打浆,将打浆浓度由原来的3~4%提高到5~6%,在同样成浆打浆度情况下,纸的耐破度和撕裂度均有显著提高。游离状打浆则要求切断纤维,而不希望纤维过多吸水润胀,打浆浓度可控制低一些。

总之,在低浓打浆的范畴内,纸料浓度的大小,应根据打浆方式、纸料性质和打浆设备构造等而决定。对于打浆机来说,在打粘状浆或一般纸料时,浓度也应大一些,但也要考虑到设备结构的限制,例如旧式打浆机纸料的浓度可达5~6%,新型打浆机的浓度还可高一些。而一般连续打浆设备,则多受浆泵和进料操作的限制,不易提高打浆浓度。还应该指出,提高打浆浓度,既可以提高单位时间的产浆量,降低单位产量的电耗,从而降低生产的成本,在经济上的合理性是不应忽视的。为此,不论是间歇或连续打浆,在设备条件允许下,根据生产纸种的质量要求,应尽量保持最大可能的打浆浓度。

中浓打浆(浓度10~20%)虽能有助于提高纸张强度,但效果既不甚显著,且动力消耗又高,因此未能在工业生产中获得应用。

早在二十多年前,在实验室进行的高浓打浆(20~30%)的研究,就已指出,高浓打浆能赋予纸张以较高的撕裂度、伸长率和耐破度等。到了六十年代,随着连续打浆设备结构的不断发展,高浓打浆设备也渐趋成熟,促进了高浓打浆在工业生产中的实现。

高浓打浆目前是采用附有强制喂料装置的盘式磨浆机,以解决浆料浓度大,流动性差等问题。一般可采用螺旋推进器作为喂料装置,将纸料推进高浓盘磨机中进行打浆。

如前述在打浆过程中,纤维受到刀片的冲击、压溃和纤维彼此之间的摩擦作用,其初生壁和次生壁外层得到破坏,从而促进纤维的吸水润胀和细纤维化。在低浓打浆时,由于大量的水在纤维间起着润滑作用,因此纤维间的摩擦力很小,对纤维的结构形态不易产生影响。低浓打浆主要靠底盘刀片的作用,因此要求磨盘刀片之间的缝隙必需保持在单根纤维厚度左右,务使纤维受到剧烈的摩擦作用。但是由于打浆设备在使用过程中会发生不均匀磨损,致使整个磨盘刀片间隙不可能完全一致。间隙太小处,纤维受到过度的压溃和切断;间隙过大处,纤维又得不到必要的处理。因此,低浓打浆不易取得均匀的打浆效果。高浓打浆的情况则与此迥然不同。高浓打浆主要依靠磨盘间纸料的相互摩擦,而不是靠磨盘本身的作用,因此盘磨间的间隙可以加大,从而避免了纤维的过度压溃和切断。从纤维筛分组成和纤维形态的观察,可以明显地看出经过高浓打浆和低浓打浆的纸料存在着显著的差别。测定结果表明,高浓打浆时纤维长度变化不大,而低浓打浆时,长纤维比例大大降低,短纤维和细小纤维比例显著增加,因而打浆度上升较快,其滤水性能也较差。在纤维形态方面,经过高浓打浆的纤维细纤维化程度要比低浓打浆的大得多。另外,经过高浓打浆的纤维多呈扭曲状,而低浓打浆的纤维则呈宽带状。

由于高浓打浆能够更多地保持纤维的长度和强度,因此纸浆的撕裂度要比低浓打浆的高得多。同时,由于经高浓打浆后纤维多呈扭曲状,纤维具有很高的收缩能力,因此纸张的收缩率得到大大改善,这种情况对水泥袋纸、高速轮转印刷纸等纸种具有重要的意义。基于上述原因,在造纸机上对纸袋纸进行干燥时,纸张的收缩率有较大幅度的增

加,其结果是纸张韧性和耐破度得到一定程度的提高,而抗张强度则可能略有降低,如表 2-1-6 所示。综上所述,由于抗张强度变化不大,而伸长率有着较大幅度的增加,最终表现在纸的韧性上大为提高,这点对纸袋纸的使用性能是极为重要的。

表 2-1-6 高低浓度不同打浆方式的比较

纸 张 性 质	低 浓 打 浆	高 浓 打 浆	高浓+低浓打浆
横向撕裂度(克/张)	150	250	200
横向伸长率(%)	6.1	8.6	9.5
横向抗张力(克/厘米)	288	288	270
横向韧性(公斤·米/米 ²)	12.7	18.7	20.9
耐破度(公斤/厘米 ²)	12.8	13.2	13.5

对长纤维浆来说单纯采取高浓打浆的处理方式,纤维没有能够得到足够的适当切断作用,不易保证成纸的匀度,因此,可以考虑采用两段打浆的方法,即在高浓打浆之后,再经过低浓打浆处理。两段打浆既能体现高浓打浆的优点,又能达到低浓均整和节约用电的目的。只要高浓和低浓两个阶段取得良好的配合而使纤维受到最小损伤,纸张的强度和重量都会比单独用高浓打浆或低浓打浆要高得多,此点可由表 2-1-6 看出。

目前用于高浓打浆的几种型式的盘磨机，均要求较高的制造精密度，并且磨盘材料必须选用优质的，这类盘磨机生产能力较大，电耗也高。

总的来看,高浓打浆是个技术方向,特别适用于处理厚壁纤维的马尾松和落叶松等浆料,而对阔叶木浆和草类纸浆等短纤维,更能发挥其效果,为利用短纤维浆生产高强度纸张开辟了新途径。

但高浓打浆也存有一些问题，例如动力消耗较大，纸张的紧度大，不透明度，尺寸的稳定性和挺度均较差，这些情况是值得注意的。

图 2-1-23 示出一种高浓盘磨机打浆流程，它适用于作为生产水泥袋纸的第一段打浆用，而第二段打浆仍用一般的低浓锥形磨浆机。

(三) 打浆温度

打浆时，由于纤维与刀片表面以及纤维彼此之间的摩擦作用，产生摩擦热，这些热量积聚在纸料中，造成浆温上升。打浆时间较长，浆温可能升高较多。温度升高的大小随打浆情况不同而有差异。

游离状打浆处理一般纸料由于打浆时间较短, 因此纸料中积聚热不大, 温度上升不大显

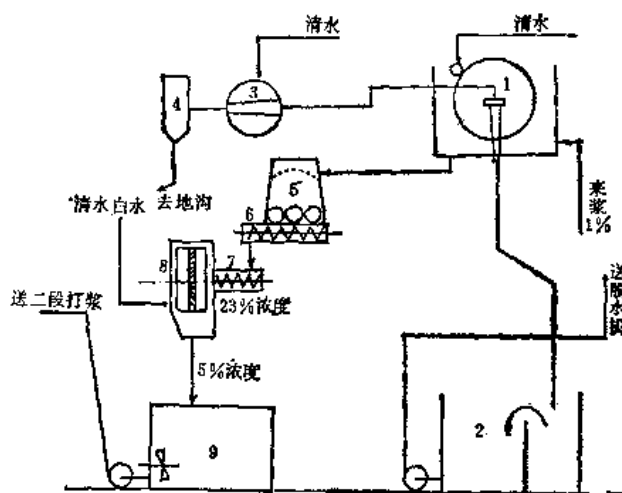


图 2-1-23 高浓盘磨机打浆流程

1—真空过滤机 2—真空过滤机水封池(80米³) 3—真空泵 4—消音器 5—活底料仓 6—送料器 7—喂料器 8—高浓盘磨机(23%浓度) 9—贮浆池(220米³)

著。粘状打浆，打浆时间较长，往往易于出现升温较多的现象，例如，电容器纸用浆的打浆时间长达 24 小时左右，纸料中积聚热较大，温度上可能上升至 60℃ 以上。

纸料温度过高，可能产生以下几种副作用：(1) 影响纸料施胶效果，导致施胶效果的下降；(2) 从亚硫酸盐木浆中游离出树脂，增加树脂障碍；(3) 可能引起纤维发生脱水，纤维的吸水润胀作用大大降低，致使必须延长打浆时间，以达到要求的打浆度；(4) 影响纸张的物理强度。以亚硫酸盐浆为例，在 20℃ 和 60℃ 温度下分别处理纸料，使其打浆最后均达 50°SR，抄成浆张，测定其物理强度，发现在打浆温度为 60℃ 时，其断裂长将比 20℃ 打浆时降低 22.7%，耐折度低 74.3%，耐破度低 43.2%，而只有吸水性能和透气度获得提高。这主要是由于较高的温度易引起纸料的脱水作用，使纤维素与纤维素之间一些氢键破裂，纸料润胀程度大大降低，在打浆过程中机械的切短作用大大加强，最终引起了纸张中纤维结合力的降低。

在工厂生产过程中，因季节和地区的不同，对打浆效果也是有影响的。通常发现夏季因温度高而给打浆工序带来一些麻烦，严重时，还需要考虑采用降温措施。冬季温度较低，则不存在浆温过高的问题。

(四) 通过量

在间歇式打浆操作中，每次处理浆量恒定不变，打浆效果主要取决于打浆比压、打浆浓度和打浆时间，如前述，打浆时间的长短又决定于打浆方法(比压和浓度)，以及对打浆质量的要求。采取连续打浆操作时，打浆效应则主要决定于打浆比压、打浆浓度、连续打浆设备的台数以及单位时间纸料的通过量。在其他条件相同的情况下，增加通过量，相应地会缩短纤维受到打浆处理的时间。如果采取提高浆浓的同时，以增加纸料通过量，那又是另一问题。

(五) 刀质和刀厚

游离状打浆宜于采用薄刀；反之，粘状打浆，则以采用厚刀较为适宜。厚刀比较不易切断纤维，而较易对纤维进行分丝细纤维化。如欲制造高粘状的纸料，则以石刀为最适宜，一般石刀的厚度比钢刀的大。

由于纸料和生产纸种的不同，打浆设备的刀片应根据实际情况选用不同的材料。钢刀切断纤维作用大，而石刀最适于粘状打浆。选用钢刀或石刀，这也要根据产品质量要求来决定。

(六) 纸料种类和化学组成的影响

各种不同纤维原料，经过不同方式的制浆手段，也会制得化学组成各不相同的纸浆。这种纤维结构和化学组成的区别，往往导致纸浆的打浆性能的差异。在第二节“打浆理论”中，已就纸浆的化学组成对打浆的影响，有所阐述。在这里，还应该着重指出，当纸浆中 α -纤维素含量较多，半纤维素含量较少时，纤维不易取得润胀和细纤维化作用，纸张物理强度难以得到发展，但纸张的松度、多孔性和吸水性能则有较大增长。另外，如果木素含量较多，则又表明纤维细胞壁(特别是初生壁和次生壁外层)，没有获得足够的破坏，直接影响到纤维的润胀和细纤维化。这些情况都是值得注意的。至于纤维结构对打浆的影响，则拟在阐述各种纸浆的打浆特性时，一併讨论。

此外，关于 pH 值对打浆的影响，各说不一，有人认为 pH 值在 5~6 或 8.5~9.0

的两个范围内，纤维润胀最大，容易打浆；但也有人认为 pH 值的大小对纸料的润胀关系不大。

三、各种浆的打浆特性

木材纤维大体分为针叶木和阔叶木两大类。对同一种制浆方法，阔叶木浆比针叶木浆需要打到更高的打浆度，才能取得相近的物理强度；但是阔叶木浆的纤维较短，既要提高其打浆度，而又要尽量避免过多的切断，确实是不太容易的，因此，阔叶木浆一般只能经受轻度打浆，取得不太高的物理强度。针叶木浆的纤维较长，其平均长度为 2~3.5 毫米，通常需要切短至 0.6~1.5 毫米，以保证抄得纸张的组织均匀。

在木浆中，早材和晚材的比例不同，也会影响到打浆的性质。晚材细胞壁厚而且硬，初生壁不易被破坏，打浆时纤维容易遭到切断，吸水润胀和细纤维化比较困难。而早材细胞壁较薄，性质又柔软，打浆时容易分离成单根纤维。研究工作指出，含早材纤维百分率高的纸页，其耐破度较大，而含晚材百分率高的纸页，则撕裂度较大。这种情况，可由用落叶松代替红松生产水泥袋纸的经验表明，落叶松含晚材多，纤维长，细胞壁厚，纤维本身强度好，打浆较困难，但对提高撕裂度有利。红松则早材较多，细胞壁较薄，性质柔软，易于吸水润胀，结合力较强，因此红松比落叶松易于打浆，并且纸张强度好，尤以耐破度更显著。

棉浆纤维细胞壁的细纤维同纤维主轴成 45° 角，因此要使纤维发生润胀和纵向分裂均比较困难，而较适宜于采取游离状打浆处理。另外，棉浆纤维较长，一般均在 20~25 毫米左右，需要将纤维大大加以切短，以便在造纸机上能够抄出组织较均匀的纸张。所以，对用于抄造吸墨纸、滤纸的破布浆打浆时，通常习惯于在打浆初期先用轻刀疏解，让纸料的纤维已经初步分开后，再用重刀迅速切短。生产含有破布浆的卫生纸、一般文化用纸或胶版纸时，破布浆经常先在半浆打浆机内进行疏解和切断，随后再在成浆机内或通过连续式的圆柱磨浆机进一步加工。

竹浆的纤维形态介于针叶木纤维和阔叶木纤维之间，因此竹浆的打浆要求比较接近于针叶木浆。

前已述及，稻麦草浆的纤维较短，在打浆过程中，既要避免过多的润胀和切断作用，又要取得一定的细纤维化。但是，稻麦草浆纤维次生壁外层和次生壁中层之间的粘结较紧密，不易细纤维化。此外，草浆的杂细胞含量较多，在打浆过程中，这些杂细胞极易破碎，结果是打浆度上升很快，增加了滤水困难。因此，应根据稻麦草浆的这些特点，结合纸张的质量要求，尽可能采取轻打浆的方法。

蔗渣浆也同样具有纤维短、杂细胞多的特点，其打浆方法也要特别加以注意。有些纸厂对蔗渣浆采取适当降低打浆度的措施，以改善其抄造性能。

荻苇浆的情况也与此相似：纤维短，呈圆柱状，细胞壁厚，不易细纤维化，杂细胞多，半纤维素含量高，因而，在打浆过程中，打浆度上升也较快，徒然增加了滤水困难。为此，对于生产一般文化用纸，也应以轻度打浆较为合适。

四、打浆的生产技术控制

(一) 打浆度的测定

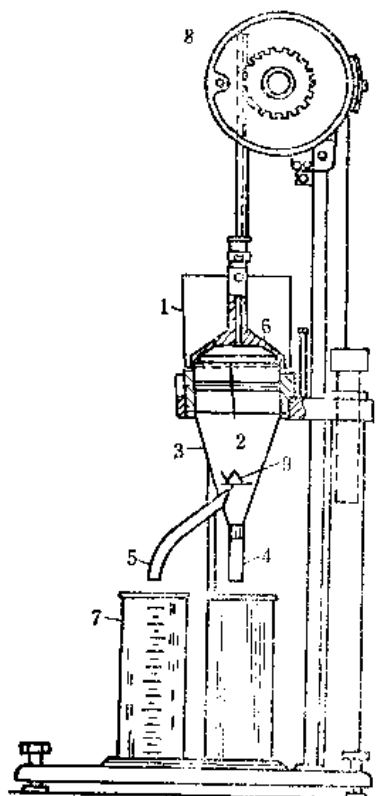


图 2-1-24 肖氏打浆度测定仪

测定打浆度的仪器种类很多。在国内外获得较广泛使用的，有肖氏打浆度测定仪和加拿大游离度测定仪。如图 2-1-24 所示。肖氏打浆度仪是由三个部分组成，即：一个具有 80 目铜网衬底 2 的圆筒 1，一个锥形盖 6，和具有排出管 4 和 5 的分离室 3。由 5 管排出的水用量筒 7 承受，直接读出纸料打浆度。

锥形盖 6 是可以升降的，其边缘嵌有 5×5 毫米断面的橡皮圈，使锥形盖紧贴着圆筒内壁，而不改发生漏水。取相当于 2 克绝干纸料，令其分散在 1000 毫升的水中（水温保持在 20°C ），然后将其倒入圆筒 1 内，再利用手轮 8 提起锥形盖 6。此时，纸料开始与铜网接触，并发生滤水作用，其过滤速度视纸料性质而定。过滤水进入分离室 3 中，再分别通过排管 4 和 5 排出。分离室的底部有一直径 2.25 毫米的小孔与直径 16 毫米的排出口 5 相连；排出口 5 设于分离室的侧面，在分离室内管口以下的装水量达到 7~8 毫升处。在分离室内，安装有伞形盖 9，使过滤水不致直接冲击分离室底部的水面，而影响过滤水通过底部小孔

的流出速度。由管 5 排出的水量即为测定打浆度的根据，其计算方法如下，并以符号“°SR”表示：

$$\text{打浆度} = \frac{1000 - \text{管 5 的排出水量(毫升)}}{10} (\text{°SR}) \quad (2-1-1)$$

所采用纸料重量和操作时水温，对测定结果影响较大，因此进行测定时，必须确切掌握，否则应进行必要的校正。

加拿大游离度测定仪与肖氏打浆度测定仪相似。但是操作时，取用 3 克绝干纸料，并在 25°C 下进行测定。测定数据称为加拿大标准游离度(GSF)，以毫升表示。加拿大标准游离度与打浆度之间的换算，如表 2-1-7 所示。由表可见，打浆度愈高，游离度愈小，反之亦然。

肖氏打浆度仪和加拿大游离度仪均属人工取样，供机外试验测定的仪器。近年来，为实现机上控制纸料打浆度或游离度，已出现几种用于检测游离度或打浆度的连续测定仪。连续测定仪从纸料流送主管中引出旁管进行取样，连续地测定打浆度或游离度，测得结果直接显示在仪表盘记录纸上，以便及时发现纸料性质的波动，予以调整。连续打浆度仪或游离度仪的应用，对控制连续打浆操作起着重要的作用。有关打浆度或游离度

表 2-1-7

加拿大标准游离度和肖氏打浆度的换算表

加拿大标准游离度 (毫升)	肖氏打浆度 (°SR)	加拿大标准游离度 (毫升)	肖氏打浆度 (°SR)
25	90.0	425	30.0
50	80.0	450	28.5
75	73.2	475	26.7
100	68.0	500	25.3
125	63.2	525	23.7
150	59.0	550	22.5
175	54.8	575	21.0
200	51.5	600	20.0
225	48.3	625	18.6
250	45.4	650	17.5
275	43.0	675	16.5
300	40.3	700	15.5
325	38.0	725	14.5
350	36.0	750	13.5
375	34.0	775	12.5
400	32.0	800	11.5

连续测定仪的结构和操作方法，可参阅这些方面的有关资料。

(二) 纤维长度的测定

由于打浆度或游离度的测定只是综合地反映纸料打浆的情况，并不能确切地代表纸料的性质，因此仅凭打浆度来控制生产是不够的，一般都要测定纤维的长度。

测定纤维长度的方法很多，最常用的是显微镜法和框架法。显微镜法是将稀释了的纸料滴在载玻片上，用氯化锌碘液进行染色，用解剖针将玻片上的纤维挑开，盖上盖玻片，然后放在显微台上用测微尺量出各根纤维的长度。显微镜法测定纤维长度，每次不得少于 200 根纤维，再取其平均的纤维长度。这种方法花费的时间多，不适应生产快速测定的需要，一般只在抽查时使用。

生产中多采用框架法（或称湿重法）。框架法并不直接测定纤维的长度，而是用一特制的框架，使稀释了的纸料在一定条件下流过框架，在框架上挂住部分纤维的重量（湿重），即可代表纤维的平均长度。因为纤维的平均长度为湿重的函数，纸料中纤维越长，框架上挂住的纤维越重，即湿重越大。这种方法仅是近似测定法，因为纤维在框架上挂着的数量与许多因素有关，如纸料的性质，纸料的浓度及操作条件等。

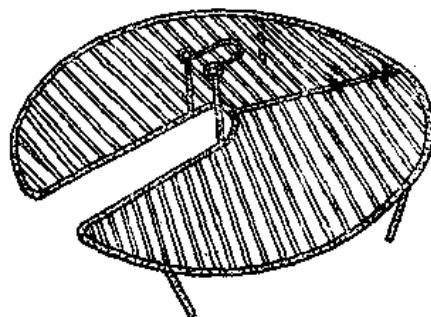


图 2-1-25 测定纤维长度的框架

框架为圆形如图 2-1-25 所示，它是用截面 2 毫米的铜丝制成，直径 125 毫米，有凹口直到中心，使于放进肖氏打浆度测定仪盖子的轴上。框架有肋条 25 根，厚 0.3 毫米，长度不等，肋条与肋条之间相距 5 毫米，框架边缘有四根 20 毫米长的腿支在仪器

盖上。框架有活环，以便放在象限秤上或在天平上称重。

这种试验的操作方法，是将框架放在肖氏测定仪的盖上，随着盖一道落到容器中，将充分打散的纸浆溶液一升（含绝干纤维 2 克）倒入容器，使浆流由凹口流入，浆流落在肋条上则可能会增加挂住纤维的重量，并同时测定纸料的打浆度。提起打浆度测定仪的锥形盖时，框架即会随同向上升起，并穿过浆层，用量筒把侧管流出的水收集起来测定打浆度，框架随着盖间上升时挂上纤维。将框架取出，静置两分钟，称取框架增加重量，即为纸料的湿重。通常是事前采用显微镜测定纸料纤维的平均长度，找出其与湿重的关系，或列表以便换算，或以纤维长度为纵座标，以湿重为横座标，画出线图。只要称出湿重，即可查表查图，求得纤维的平均长度。在生产中往往直接运用湿重，例如 5.9 克，4.8 克等来表示纸料的长度，而不再进行换算。

（三）保水值的测定

测保水值指标可以说明纤维的润胀程度，也就是说明了细纤维化的程度。其测定方法如下：在标准条件下，把一定重量的纸料放入小玻璃管中（现多已改用镍网），将小玻璃管放入高速离心机内，经高速离心处理后把游离水甩出。使纤维只保存润胀水（当然也含有少量的纤维表面水和纤维之间的水分），然后取出称量至恒重，即为纤维保留水分的能力。

$$\text{保水值按下式计算：保水值} = \frac{\text{湿浆重} - \text{干浆重}}{\text{干浆重}} \times 100 \quad (2-1-2)$$

即经离心处理的湿纸料所含水分的重量，与该浆样绝干重量的分率表示之，如浆样的绝干重量为 1 克，经离心后含有 2 克的水，则其保水值即为 200%。

第四节 打 浆 设 备

打浆设备可分为间歇式和连续式两大类。间歇式目前使用的主要是打浆机，连续式则有圆柱精浆机、盘磨机和锥形精浆机等。

打浆设备大体沿着以下方向发展：（1）提高设备效能，降低动力消耗；（2）由间歇操作转向连续作业，提高生产能力；（3）从多性能设备发展到单一性能设备，并可将几台效能不同的打浆设备串联起来使用；（4）由低浓设备发展到高浓设备；（5）从人工操纵单台设备运转，发展到多台设备的集中控制和自动控制。

近年来，在打浆工艺和设备改进上一个突出的特点，就是逐步用连续打浆设备代替了间歇打浆设备，因为连续打浆具有效率高、占地面积小、节省动力消耗、劳动强度低，为打浆的自动化和自动控制提供了技术基础等特点，是今后打浆的发展方向，但间歇设备仍具有适应性和灵活性较强的优点。现将几种间歇和连续打浆设备分述如下：

一、打 浆 机

（一）打浆机的种类、性能和结构

打浆机虽然在 18 世纪就发明了，但到今天，很多工厂仍用于生产中。尽管打浆机

有消耗动力大、占地面积大、劳动强度大和间歇操作等缺点，但由于它适用于处理各种性质的纸料，适应性强，并通过打浆条件的改变，可获得不同要求的纸料，另外适合于处理半浆，所以目前仍应用于许多造纸厂中。打浆机的种类很多，常见的有荷兰式、改良荷兰式、伏特式、瓦格纳式和标准 EDC 式等。

打浆机主要是由浆槽、打浆刀辊、底刀和升降装置所组成，见图 2-1-26。浆槽多由钢筋混凝土制成，槽壁抹以水泥并加以磨光，以减少纤维与槽壁的摩擦。有些浆槽内壁衬有瓷砖，以保证抄制高级纸张时的洁净。

打浆机浆槽被中墙隔成一条循环通道，以便纸料可以在槽内循环流动，在有打浆辊的一边通道称为打浆沟，另一边则称迴流沟。在打浆辊上装有若干片飞刀，槽底装有底刀，飞刀和底刀中间的距离能用打浆辊升降装置加以调节。打浆机浆槽底面是一斜坡形，在打浆辊转动的时候，纸料被飞刀带过底刀，打浆以后，纸料翻过山形部，借重力顺着倾斜槽底转到浆槽迴流沟一边，又重新回到打浆辊的前方，再被打浆辊抛过山形部，这样循环不止地在槽内流动，同时进行打浆作业。打浆辊上面装有打浆罩，避免纸料被打浆辊飞刀抛出槽外和带到前方，发生飞浆和回浆现象。

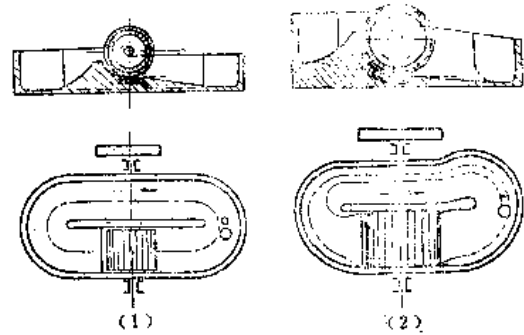


图 2-1-26 打浆机浆槽
1—旧式打浆机 2—新式打浆机

旧式打浆机的浆槽近似一椭圆形，左右两边平直，前后两端呈半圆形，这样在纸料转弯地方容易停浆，影响纸料质量，所以现在多已根据流体运动性质将浆槽转弯处弄直，或者做成弧度较大的曲线，以便增加纸料在该处的冲刷力量，避免停浆现象产生。

一般打浆机浆槽的长度为打浆辊宽度的 3.5~4.0 倍，而打浆机浆槽的总长度和总宽度的比值，多趋于定为 1.5~1.8。浆槽的长宽比较小，说明浆槽外形比较短胖，槽底水线倾斜度较大，有利于加快纸料循环速度，这样不仅打浆效率高，又能保证纸料质量均匀。

旧式打浆机的打浆辊位于浆槽中部，近代打浆机的打浆辊则多安装在浆槽中部向后移 200~400 毫米，有时甚至移动至 1000 毫米之处，以保证纸料在迴流沟内流动时获得更好的混合，并可以有条件使迴流沟具有较大的坡度。中墙本身宽度一般为 100 毫米，其一端通常呈圆形突出，突出部分的厚度为 300 毫米。

山形部的主要作用是为了造成一定的位差，使纸料获得适当的运动速度。山形的绝大部分是与打浆辊成同心圆，两者之间的距离最好不超过 5~10 毫米。山形部顶端高出打浆辊中心线的距离，对打浆效率和动力消耗均有很大影响。山形较高，虽能保证纸料具有较大的线速，但易于促使纸料随着打浆辊流动，造成过多的动力消耗。

为使纸料易于翻过山形部，山形部顶端与打浆辊间的空隙应适当放宽，这个宽度在小型打浆机一般是 100~110 毫米，中型打浆机为 150~175 毫米，过宽则有纸料堆积在此处，构成涡流。

打浆辊是由2~4块钢质幅架组成。幅架依靠销钉固定在钢轴上；幅架上设有供安装刀片用的齿形槽。打浆飞刀两端均备有凹槽，以便安装在幅架齿形槽上，再在打浆辊两端用圆铁圈箍紧。在安装时，先将圆铁圈烧至灼热，然后嵌入飞刀槽沟内，待其冷却后，即会牢固地压紧刀片。各片飞刀之间则楔有硬质夹刀木（或称嵌木），硬质嵌木遇水膨胀，即可牢实地将飞刀固定在幅架上。因此，新装配的打浆辊必须置于水中浸泡若干小时，务使各处嵌木均得到充分膨胀，方可进行试运转，否则将会发生刀片脱落横飞的严重事故。

打浆辊飞刀的材料，根据所处理的纸料性质可选用钢刀、不锈钢刀或石刀，一般广泛使用的还是钢质飞刀。飞刀的钢质不应太软，一般规定，其硬度以布氏230~250°为宜，抗张强度不低于 $5.89 \sim 8.34 \times 10^6$ 牛顿/米²（60~85公斤/厘米²）。一般钢质飞刀的使用寿命，视打浆规程、打浆比压的大小、填料用量、施胶时pH值和纸料类别等因素而定，一般用于处理化学浆可用2~3年。锰钢刀片使用寿命更长，并且不会弄脏纸料，但成本较高。

对于高粘度打浆的纸料（例如感光纸、电容器纸、描图纸、仿羊皮纸），通常采用玄武岩刀打浆辊。它是用100~200毫米宽的长方形断面玄武岩装在打浆辊的幅架上，再用水泥加以固定。玄武岩刀面上刻有沟纹，有很大的打浆表面，因此打浆性能良好，能够提高生产能力，特别适用于高度的粘状打浆。

关于底刀，一般打浆机通常有1~3组，每组有15~20片刀片，刀片之间也夹有嵌木，并用螺栓将其夹紧，固定在底刀匣内。以往一组底刀的旧式打浆机，底刀位置在打浆辊的正下方，新式打浆机的底刀则多安设在山形部山坡一侧，稍为位于打浆辊中线的后方，从而减少涡流的形成，以便充分利用打浆辊推动纸料的动能。

为避免飞刀嵌进底刀，导致刀片的损坏，并为提高打浆机的切断效能起见，底刀与飞刀必须按照一定的倾斜角度进行安装。这一倾斜角度如果小于3°，切断纤维作用不大，增加倾斜角度，在一定范围内可以提高切断纤维效率，但是假如超过了20°，打浆压溃作用增加，切断纤维作用反而降低。所以通常底刀和飞刀之间的倾斜角度多采用5~7°。

底刀材料的种类与飞刀相同，也即是有钢刀、铜刀、不锈钢刀和石刀几种。一般情况，飞刀和底刀都是使用同样的材料。底刀的厚度约为飞刀的1/2~2/3（一般小于飞刀2~3毫米）。表2-1-8示出飞刀与底刀的厚度。

在打浆过程中，打浆辊与底刀之间缝隙的大小，打浆辊作用在纸料上的比压，都会

表 2-1-8 打浆方式与飞刀及底刀厚度

打 浆 方 式	飞 刀 厚 度 (毫米)	底 刀 厚 度 (毫米)	纸 浆 示 例
游离打浆	6~7	3~4	吸墨纸
普通打浆	8	5~6	书写纸
粘状打浆	9~10	6~7	卷烟纸
高度粘状打浆	11~15	8~12	羊皮纸

直接影响到打浆机的工作效果。可以利用与打浆机的调节机构调节打浆辊和底刀间的间隙和打浆比压。关于调压机构和升降打浆辊位置，如图 2-1-27 所示。图中 9、6、8、7 构成调压系统，2、3、4、5、8、7 构成调节间隙的升降打浆辊系统，两个系统通过轴销 8 联系在一起。旧式打浆机一般只有调隙机构，而没有调压装置。

至于打浆机的其他部分，如打浆机罩、放浆口、排污口等，这里不拟一一叙述。

图 2-1-28 所示为我国造纸厂常用的伏特式打浆机，其主要特点如下：

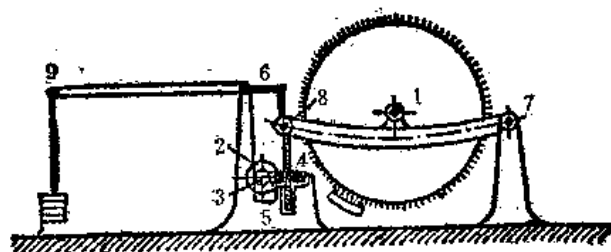
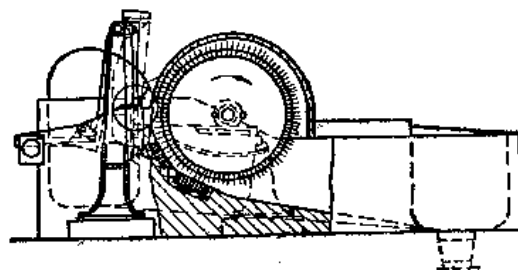


图 2-1-27 调压和升降装置

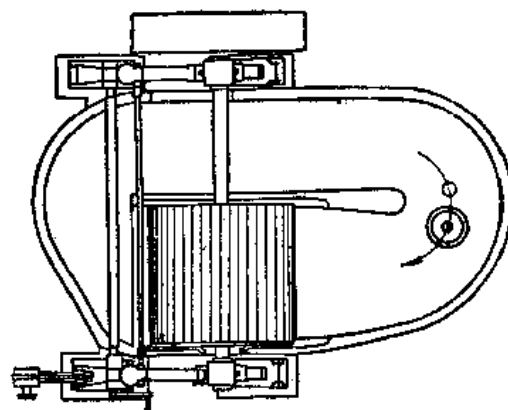


图 2-1-28 伏特式打浆机

(1) 浆槽的长宽比值较小，由于缩短了浆槽长度，减少了纸料流程，减少了摩擦损失，增加循环流速，打浆的动力消耗也相对地下降。

(2) 打浆沟宽于迴流沟。迴流沟较窄，因此，纸料在迴流沟里的流速得到加快。打浆沟较宽，打浆辊飞刀和底刀都比较长，有利于提高打浆效率。

(3) 加大了打浆辊直径，增加飞刀的片数（一般达到 60~90 片），又进一步提高打浆效率。

(4) 不仅增加底刀数目，并且将底刀位置移到山形部的斜坡上，这样可以充分利用纸料翻过山形部的动能，而且还能增加打浆的比压。

(5) 浆槽的山形部顶端比较高（高出打浆辊中心约 130 毫米），而槽底的水线斜度较大，适合于较高浓度纸料（8~9%）的打浆。

(6) 浆槽中墙前端庞大，又有与之相适应的浆槽内壁弧度，从而避免产生停浆现象，有利于改善纸料的打浆质量。

(7) 浆槽后端一边削成一斜角，使中墙与后壁更加接近，形成一条狭窄的通道，因而提高了纸料在该部位的流速，加大了冲刷的作用，避免浆槽后部停浆。另外，又因浆槽后端成一斜角跟山形部后坡构成陡立的关系，使浆槽外圈的纸料得以跟内圈的纸料互换位置，加强了纸料在浆槽中的混合作用，有利于提高纸料的打浆质量和均匀性。

(8) 打浆辊前方装有可以升降的调浆板，可用以控制纸料淹没打浆辊的深度，便于调节进入打浆辊飞刀和底刀间的纸料数量。

(9) 各有调压装置, 可以移动重锤位置来调节打浆比压, 以适应纸料的打浆性质。

基于伏特打浆机具有上述一系列的特点和优点, 可以取得较高打浆效率, 纸料质量较均匀, 并且能够节约打浆动力消耗, 实不失为一种性能良好的打浆机。

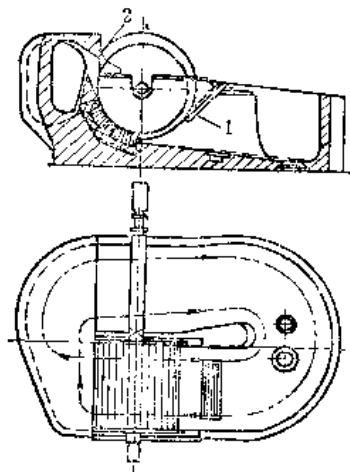


图 2-1-29 瓦格纳式打浆机
1、2—调浆板

图 2-1-29 所示为瓦格纳打浆机, 它也是我国常用的另一种打浆机。其特点是打浆辊直径等于或近于打浆辊宽度, 迴流沟比较宽, 而浆槽较短, 打浆辊的位置偏后, 所以迴流沟的坡度很大, 有利于加速纸料在槽内的流动和循环。另外, 浆槽后端沿着切线削直, 迴流沟底呈圆锥形扩大, 有助于内外圈纸料互换位置, 从而取得充分混合, 并保证纸料的打浆质量均匀。打浆辊前有调浆板 1, 在山形部上方又安装有第二块调浆板 2, 均可用以调节进入打浆飞刀与底刀间的纸料量。

我国制造的标准型打浆机、半浆机, 型号是 ZDC, 其规格和基本参数等如表 2-1-9 所列, 其中成浆打浆机 ZDC1 和 ZDC2 两种型号基本上与工厂当前使用的瓦格纳式打浆机大体相似。

表 2-1-9 标准 ZDC 打浆机的规格和基本参数

型 号	ZDC 1	ZDC 2	ZDC 3	ZDC 4
生产能力(公斤/池)	150	250	350	500
容量(米 ³)	3	5	7	10
刀辊规格(毫米)	φ1000×1250	φ1350×1350	φ1400×1200	φ1500×1400
刀辊转速(转/分)	180	180	136	124
飞刀数量(把)	90	80(钢) 20(石)	78	87
底刀组数	3(27把)	3	1(14把)	1(20把)
洗鼓个数		1	2	2
作 用	处理成浆 (特殊需要时选用)	处理成浆	处理半浆	处理半浆

(二) 打浆机的性能指标及其计算

打浆机的打浆性能决定于打浆辊的线速、每秒切断长、打浆面积、打浆比压和刀口系数等条件, 现就各项分别讨论如下:

1. 打浆辊线速

$$V = \frac{\pi D n}{60} \quad (\text{米/秒}) \quad (2-1-3)$$

式中 V ——打浆辊线速(米/秒);

D ——打浆辊直径, 包括飞刀刀槽深度在内(米);

n ——打浆辊转速(转/分)。

一般的旧式打浆机打浆辊线速为 7~8 米/秒, 新式打浆机则多提高到 10~12 米/秒。

2. 每秒切断长

切断长或称切断能力，它代表单位时间内打浆机的飞刀和底刀刀刃发挥其切断纤维作用的数据。对于一台打浆机来说，每秒切断长只是代表它横向切断纤维的能力，表示了游离状打浆的能力。

$$L_p = \frac{Z_1 Z_2 n L}{60} \quad (\text{米/秒}) \quad (2-1-4)$$

式中 L_p ——每秒切断长；

Z_1, Z_2 ——分别表示飞刀和底刀的数目；

n ——打浆辊的转速(转/分)；

L ——刀的长度(米)。

通常底刀盆中心线与打浆辊轴中心线的投影成一角度 α ，所以公式中尚需有 $\cos \alpha$ 的关系。

3. 刀口系数

可用刀口系数的大小来表明打浆机是适合于游离状打浆、半粘状打浆、粘状打浆，还是高粘状打浆。其计算公式如下：

$$\gamma = \frac{1}{\delta_1 \delta_2} (\text{厘米})^{-2} \quad (2-1-5)$$

$\delta_1 \delta_2$ 分别表示飞刀和底刀的厚度，刀口系数也就是飞刀和底刀厚度乘积的倒数。生产实践证明，打浆性质是与刀口系数的大小有关。一般说来，刀口系数小于 1.25 为粘状打浆，在 1.5~2 为半粘状打浆，而超过 2 则为游离状打浆。

4. 打浆面积

打浆机的打浆面积是指飞刀和底刀的接触面积。实际上，打浆就是在这一面积上进行磨碎和压溃纸料。所以它的大小，是以表明打浆机分裂纤维的能力。

$$F = \frac{Z_1 Z_2 \delta_1 \delta_2 L}{\pi D \cos \alpha} (\text{厘米}^2) \quad (2-1-6)$$

式中 $Z_1 Z_2$ ——分别表示飞刀和底刀数目(片)；

$\delta_1 \delta_2$ ——分别表示飞刀和底刀厚度(厘米)；

L ——飞刀或底刀长度(厘米)；

D ——打浆辊直径(厘米)；

α ——底刀与打浆辊轴线的倾斜角度。

5. 打浆比压

在单位打浆面积上所受的力称为打浆比压。设打浆辊加各底刀的有效重量为 Q 公斤，而打浆面积为 F 厘米²，则比压：

$$P = \frac{Q}{F} (\text{公斤/厘米}^2) \quad (2-1-7)$$

而打浆面积又与刀的厚度和数目有关。根据上式可以看出，减少刀的厚度和数目都可以提高打浆比压。

目前打浆机的底刀多靠近于山形部一侧，而并不在打浆辊的正上方；随着底刀与打

浆辊间偏角的增大,也就是说底刀位置愈靠近于山形部一侧,则打浆比压愈加大。

6. 打浆机的动力消耗

打浆机在打浆时所消耗的动力,随着纸料的种类,打浆的要求,纸料浓度,打浆比压,刀口系数,打浆时间,打浆机的大小及形状等的不同而变化。在打浆时,消耗的动力可分为有效功率和无效功率两部分:有效功率消耗系指真正用于切短、压溃、分裂纤维所消耗的功率;无效功率则指没有直接用于起打浆作用的那部分功率,如循环纸料、提升纸料和纸料摩擦损失消耗等。

打浆时消耗的有效功率与打浆比压、打浆面积和打浆辊飞刀线速成正比,总共消耗功率为:

$$N_0 = \frac{\mu P F V_1}{102} = \frac{\mu Q V_1}{102} \text{ (千瓦)} \quad (2-1-8)$$

式中 μ ——打浆系数;

P ——打浆比压(公斤/厘米²);

F ——打浆面积(厘米²);

V_1 ——打浆辊飞刀线速(米/秒);

Q ——打浆辊有效重量。

以往认为打浆系数 μ 等于打浆刀与纸料的摩擦系数, $\mu=0.10\sim0.25$,实际上,打浆系数并不完全等于摩擦系数,因为在切断和分裂纤维时,还应考虑到纤维所构成的阻力。根据不同纸料性质,打浆系数具有不同的数值,例如当打浆比压为 $6.87\sim8.83\times 10^5$ 牛顿/米²(7~9公斤/厘米²)时, μ 的数值为:化学木浆0.116,化学草浆0.136,机械木浆0.144,破布浆0.128,麻浆0.170。

打浆时的无效功率主要包括纸料循环、提升纸料、刀片与纸料摩擦等方面的功率。由于打浆机的无效功率很大,因此与其它连续打浆设备相比,打浆机的单位动力消耗是较大的。

二、盘磨机

(一) 盘磨机的发展和种类

近年来,在国内外盘磨机的发展都非常迅速,其原因大体有:(1)随着近年来国内外半化学浆、高得率浆、木片磨木浆、化学磨木浆等新工艺的迅速发展,大大促进了盘磨机的发展;(2)由于盘磨机的结构和磨盘齿型的不断改进和完善,并朝着专用化发展,使得盘磨机能适应各种化学浆的需要;(3)盘磨机占地少、效率高、电耗低;(4)其操作属连续打浆,有利于保证质量的均一和稳定,有利于提高劳动生产率,并为打浆操作的自动化提供了技术基础;(5)适用于较高浓度的打浆。

盘磨机按其设备特征一般可分为立式和卧式两类。盘磨机在结构和盘数上可分为:(1)双盘式盘磨机;其中又分单盘旋转式,又称单盘磨,即一个磨盘固定,另一个磨盘回转;另有双盘旋转式,即两个磨盘同时回转,但方向相反;(2)三盘磨,又称双圆盘磨浆机,即一个具有两面磨齿的圆盘在两个固定磨盘中间回转;(3)多盘式磨浆机。

盘磨机型号是按圆盘直径大小来表示。我国使用的盘磨机的主要规格有: $\phi 300$ 、 $\phi 330$ 、

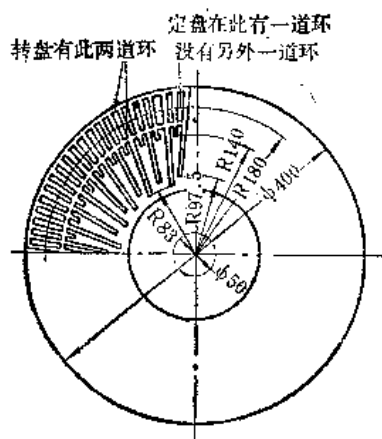


图 2-1-31 斜放型带圆弧阻浆环内纹示意图

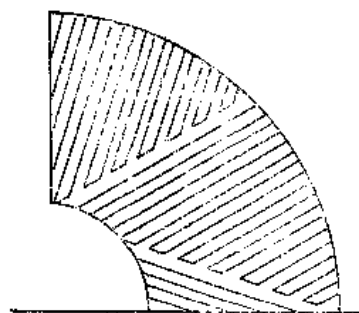


图 2-1-32 扇块型直长短齿齿纹示意图

能具有广泛适应性，可以单台一次成浆，也可串联几台一次成浆，设备结构紧凑、重量轻、生产能力大、电耗低等。三盘磨结构的一个特点是主轴能够沿轴中心线前后移动，使磨盘间隙和压力保持均衡。图 2-1-33 示出一种 $\phi 450$ 的三盘磨，它是由三个磨盘构成两对磨面，即两个磨区，这相当于两台单盘磨合在一起，生产能力为单盘磨的两倍，

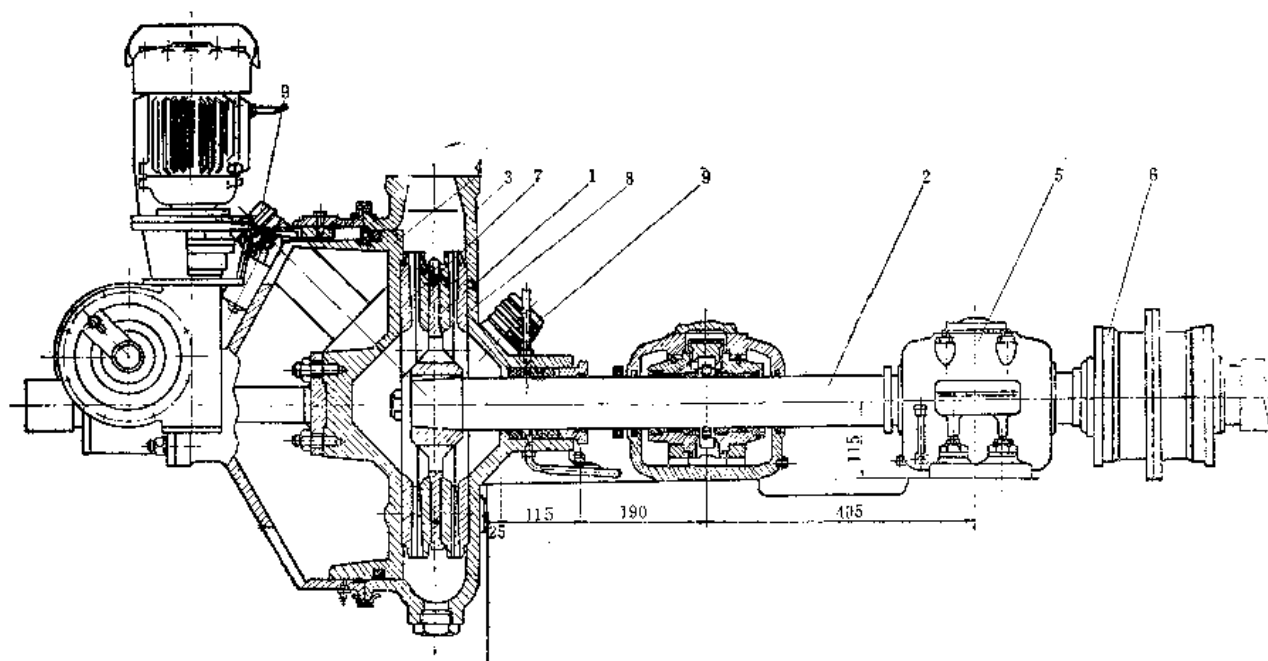


图 2-1-33 三盘磨结构示意图

1—转动盘 2—转轴（旋转部件） 3—机壳 4—移动机座 5—滑动油冷轴承 6—内
轮联轴器 7、8—固定盘 9—进浆管

节省动力，设备费用降低。如图 2-1-33 所示，两块固定磨盘 7、8 分别安装在可移动机座 4 和机壳 3 上。另外，在转动盘 1 两侧分别各安设一块磨盘，构成一个具有两个磨浆表面的转动盘。固定盘 7 和转动盘 1 一侧的表面构成一个磨区，固定盘 8 则和转动盘 1 另一侧的另一表面构成另外一个磨区。纸料由设在移动机座 4 和机壳 3 上的两个进浆管 9 进入两个磨区，磨浆后汇合，然后从同一个出浆管排出。

移动机座 4 可以通过手动或电动调节，令其作左右移动，转轴 2 装在两副油冷滑动轴承 5 中，并由齿轮联轴器 6 与主电机联结。转轴 2 允许移动磨盘 1 在两个固定磨盘 7、8 之间自动调正，作浮动性旋转。其结果是，转动盘 1 为浮动盘，可以沿轴向做前后移动。转动盘 1 用键固定在转轴 2 的圆锥端上。转轴 2 用优质铬钢制成，并由两副油冷滑动轴承支承，这种轴承具有最小的磨阻。转轴 2 与机壳 3 之间装有密封填料以防止浆料泄漏。

移动机座 4 是用导键结合在机壳上，用螺杆使之沿轴向作前后移动，以增加或减少两个磨区的间隙。移动机座 4 与机壳 3 之间设有密封圈，以避免浆料泄漏。移动机座 4 的定位是由手动蜗轮箱或电动蜗轮箱通过蜗轮和转动蜗杆来实现的。

表 2-1-10 列出三盘磨与圆柱磨浆机处理几种不同浆种的比较。从表可以看到，三盘磨具有一定的优越性，处理芒杆浆尤为显著。

表 2-1-10 三盘磨与圆柱磨浆机成浆质量的比较

打浆设备 浆料种类	$\phi 450$ 单台 三盘磨			50 型柱磨浆机，5 台串联		
	漂白木浆	漂白棉浆	芒杆浆	漂白木浆	漂白棉浆	芒杆浆
打浆度 ($^{\circ}\text{SR}$)	31	41.5	31	33	45	40
湿重 (克)	12	5.5	5	11	4.7	3.5
平均纤维长 (毫米)	1.49	1.17	0.98	1.32	1.10	0.98
产量 (公斤/时)	680	784	1500	1050	946	1660
电耗 (度/ $^{\circ}\text{SR}$ 吨浆)	11.7	7.6	5.4	15	13.4	7.8

(四) 影响盘磨机效能的因素

盘磨机的打浆作用主要是依靠动盘的高速旋转，产生巨大的离心力，不断地把在齿槽中激烈湍动的浆料抛向磨浆面(即齿面)形成浆膜。在此过程中，纤维蒙受摩擦力、扭力、剪刀、水力等多种力的综合作用，得到切断、分丝、细纤维化、扭曲和压溃，虽然纸料在齿盘间只停留几秒钟时间，仍能得到良好的打浆效果。

磨浆浓度、纸料通过量、打浆负荷(比压和磨盘间隙)、纸料性质，齿型、齿盘材质、动盘转速、供浆方式等都直接影响到打浆质量。而齿型、齿盘材质、动盘转速以及供浆方式均取决于盘磨机的设计与制造。在操作中，则主要依靠调节打浆负荷、纸料通过量以及磨浆浓度来达到控制质量的目的。现就影响盘磨机效能的主要因素讨论如下：

(1) 磨浆浓度：一般说来，浓度低纤维易被切断；浓度高，磨齿与磨齿作用相对减少，从而分丝细纤维化的作用增大。一般认为在 4~5% 或更高的浓度下，能较好地发挥盘磨的生产能力。但是，在实际生产中，磨浆浓度受到纤维原料性质、浆泵结构和能力的限制，目前很多中小型厂浆泵能力只能达到 4% 或稍高些，这对于纤维短、易被切断的草浆来讲，显然是不利的。对草类浆来说，采用较高磨浆浓度，对产、质量均有好处。

(2) 纸料通过量：纸料在盘磨机内通过量大，表明纸料通过速度快或磨盘之间的间隙较大，以及盘面上沟的深度及宽度大，这一切均会降低磨浆效果。各厂生产实践表

明，在磨浆浓度和磨盘间隙大小不变的条件下，通过量和打浆质量成直线关系，这说明通过量增加，每根纤维在磨盘间停留时间必然缩短，受到的打浆作用也就较少，因而打浆质量随之下降。

实际上通过量又和单位电耗有直接关系，过度降低通过量，又会引起单位电耗的增加。为此，在磨浆操作中，尽可能提高纸料通过量，并以控制磨浆时达到的一定电流指标，作为控制打浆质量、降低电耗的手段，借以取得较好的技术经济效果。

(3) 磨浆比压的影响：磨浆比压是指磨盘间磨浆面积上的单位压力，是下刀程度的具体反映。磨盘间隙小，比压大，切断纤维的作用较大；磨盘间隙大，比压小，切断纤维的作用较小，但分丝细纤维化程度则增大。要在盘磨机中，测定比压是比较困难的，一般多以控制传动电机的电流变化的大小来改变磨浆比压。这是一种间接的方法，这种方法夹杂有其他因素的影响。只有在纸料浓度和通过量基本不变的情况下，磨浆电流才能在一定程度上反映下刀程度。

转动盘旋转时，产生一种迫使纸料从磨盘沟槽转移到磨齿表面的挤压力。从理论上来说，这一挤压力与纸料进出口压力差两者之和，即为纸料在盘磨机中所受的压力。关于盘磨机的比压计算和测定方法，研究得还不多。有的文献指出，盘磨机主要用于疏解纤维时，比压为 $5.886 \sim 58.86 \times 10.3$ 牛顿/米² ($0.06 \sim 0.6$ 公斤/厘米²)，间隙为 $2 \sim 0.25$ 毫米；而当主要用于切断纤维时，则比压为 $5.886 \sim 23.544 \times 10.4$ 牛顿/米² ($0.6 \sim 2.4$ 公斤/厘米²)，间隙为 $0.25 \sim 0.025$ 毫米。应该指出，比压又随着纤维的种类和制浆方法的不同而有差异。

(4) 磨盘齿型的影响：磨盘齿型对盘磨机的磨浆质量影响很大。在处理不同纸料时，应采用不同的齿型。如主要要求对纸料起精磨作用（例如，用于处理一般纸料的盘磨机），也就是说，要求纸料通过一次即能完成精磨过程，并同时取得细纤维化与切断作用，从而达到提高打浆度、增加纸张强度，这就要求有较大的机械接触面积，则应该选用具有较窄、较浅沟槽的齿型。浅槽可提供有较大的刀口磨碎面积，有利于使处于磨盘沟槽和齿面的纸料获得充分互换的机会，同时又能在齿面上保持有足够的纸料，以保证取得充分的磨浆效果。如果要求在同一盘磨机上满足不同的工艺条件，则可在一个磨盘表面上分段设计出不同的齿型。另外，也可以在磨盘表面设置封闭圈，或在磨盘沟槽处设置挡板，借以延长纸料在磨盘上的停留时间，并取得均一的磨浆作用。

在一定的盘径和转速下，齿型的设计取决于纤维原料种类、制浆方法和产、质量的要求。为了获得更好的磨浆效果，最好通过多次试验与对比，作出逐渐改进，再决定齿型的选用。

三、圆柱磨浆机

圆柱磨浆机也是一种连续打浆的设备，在国内获得较广泛使用已有十多年的历史。

与打浆机相比，圆柱磨浆机的主要优点是：(1) 产量大，效率高；(2) 打浆质量好；(3) 设备造价低，占地面积较少；(4) 操作比较简单而且连续化；(5) 动力消耗较低。

圆柱磨浆机其不足之处为：

(1) 切断纤维的能力较差。在处理硫酸盐浆、棉浆等长纤维或处理游离状纸料时，常感到切断纤维的能力不足。为此，有些造纸厂先用打浆机处理纸料，再用圆柱磨浆机处理成浆。

(2) 打高粘状浆时，纤维不够柔软。某些厂采取降低通过量、增加串联台数，以弥补其不足，但结果增加了动力消耗。

(3) 散热性差。尤其是在打高粘状浆时，打浆温度高，影响纸料质量，并且容易引起石刀爆裂。关于封闭式圆柱磨浆机打浆的降温问题，目前未得到很好地解决。

(一) 圆柱磨浆机的结构与规格

我国目前采用的圆柱磨浆机有 50 型、100 型、300 型三种，最常用的是前两种。

圆柱磨浆机的结构如图 2-1-34 所示，它是由一个圆柱形的飞刀辊（转子）和四组扇形底刀（定子）所组成。底刀是均匀地分布在飞刀辊四周的。圆柱磨浆机的进浆一端有进

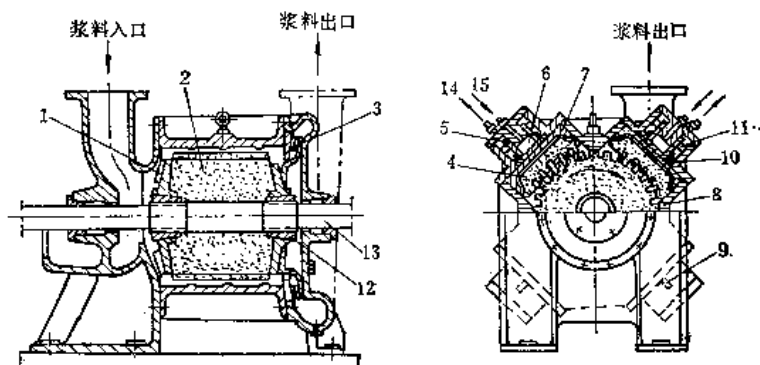


图 2-1-34 圆柱磨浆机

1—喂料叶轮 2—转子 3—喂料叶轮 4—定子 5—活塞筒 6—水压室 7—定子盒
8—外壳 9—标杆 10、11—密封圈 12—螺帽 13—主轴 14—减压水管 15—加压水管

浆管道和喂料叶轮，出料一端有送料叶轮和出浆管道。飞刀辊靠四个双头螺栓拉牢，紧夹在喂料叶轮和送料叶轮的联结盘上，用键固定在主轴上。主轴经联轴器与电机相连，电机转动时，喂料叶轮把纸料均匀地分送到飞刀辊的四周进行打浆，送料叶轮又把打过浆的浆料经出浆管道，送到下一台圆柱磨浆机或浆池。飞刀片顺刀辊回转方向与主轴倾斜 $8 \sim 10$ 度。底刀片则与轴线方向一致，没有倾斜角，底刀固定在底刀匣区。图 2-1-35 所示为石质飞刀辊与底刀的示意图。

目前常见的底刀加压装置有活塞式、皮碗式和薄膜式三种类型。活塞式加压装置结构复杂，要求制造精度达到较高水平；皮碗式结构较简单，且能自控加压进刀或退刀；薄膜式结构也较简单，又能增加受压面积，另外操作维修都较简便。大型圆柱磨浆机多趋于采用活塞式加压装置，中型的多选用皮碗式，而小型的则倾向于运用皮碗式或薄膜式。

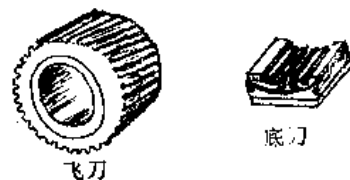


图 2-1-35 石质飞刀辊与底刀示意图

底刀的加压方式有用压缩空气加压和高压水加压等两种，以压缩空气加压使用最普遍。

圆柱磨浆机的进浆方式有封闭式和敞口式两种。封闭式系将串联的各台圆柱磨浆机

通过管道封闭起来,其结果是进浆压头高,流量大,调节方便,运转时不会发生溢流和溅浆,因而操作区较清洁,纸料亦不易弄脏。但封闭式进浆散发差,取样比较困难,不便于质量的检验和控制。敞口式进浆系统又称槽式串联,通过高位箱及塑料槽进浆,并将各台磨浆机串联在一起。

(二) 基本参数与打浆质量的关系

1. 纸料通过量与打浆质量的关系

通过量(公斤/小时)也就是生产量,它与打浆质量有很大的关系。在相同条件下,增加纸料通过量,纸料打浆度下降,湿重增大,说明纤维所受的打浆作用减小了。测定的数据示例如表 2-1-11 所示。

表 2-1-11 通过量与打浆质量的关系

通过量(公斤/时)		700	1983	2890
压力(公斤/厘米 ²)		2	2	2
单位成浆产量(公斤/台时)		70	111.5	132
动力消耗(千瓦/100公斤°SR)		0.66	0.65	0.62
成浆质量	打浆度(°SR)	78	77	71.5
	湿重(克)	2.5	3.1	3.5
	纤维长(毫米)	1.52	1.57	1.74
手抄纸裂断长(米)		6370	5250	5080

2. 纸料浓度与打浆质量的关系

纸料浓度也是打浆过程的主要因素之一。纸料浓度越高,打浆度的提高越显著。提高纸料浓度,纤维受切断较少,压溃和细纤维化则增多。纸料通过量也随着浓度的增加而相应的增大,但当浓度增大至6%以上时,由于纸料粘度较大,在磨浆机中流速下降,使通过量反而降低。有时,由于浆泵性能欠佳,纸料浓度过高,还会产生断浆现象,引起崩刀损坏设备的事故,这要加以注意。

一般说来,采用较高的磨浆浓度较为适宜,这样可以保证打浆度上升较快,成浆质量较稳定。但对于长纤维(棉、麻、浆等),为了切断纤维,改善纸页的匀度,则以3~4%的中浓度为适当。

为了稳定和适当提高磨浆浓度,目前有些厂在圆柱磨浆机前装设脱水设备(用斜筛或小圆网脱水机),收效很好。

3. 磨浆压力与磨浆质量的关系

磨浆压力较高,打浆度上升较快,湿重下降也较快。生产数据示例如表 2-1-12 所示。

从表 2-1-12 中可以看出,随着磨浆压力的增加,整根纤维减少,切断和压溃的纤维增加。磨浆压力的选择也应当按照浆种和纸种的要求来确定。适当提高压力,可以相应地加大通过量,以增加产量。多台圆柱磨浆机串联,原则上宜采用抛物线的压力曲线。对游离状浆,可采用先重后略轻,并应严格控制磨浆末期的压力。在使用石刀时,最初

表 2-1-12

磨浆压力与磨浆质量的关系

磨浆压力 (公斤/厘米 ²)	磨浆浓度 (%)	通过量 (公斤/时)	打浆度 (°SR)	纤维形态		
				整根占 %	切断占 %	压溃占 %
0	2.78	817	30.5	58.4	40.7	0.9
2	3.22	817	36.6	34.1	61.5	4.4
3	3.50	817	38.0	28.7	63.8	7.6
4	3.22	817	41.0	20.9	67.6	11.6

阶段（指新石刀磨损约占总周期三分之一以内时），其磨浆压力以低一些较好。磨浆压力通常是随着石刀使用时间的延长而增大，但压力增加又会缩短石刀的使用寿命。

4. 磨浆温度与质量的关系

磨浆温度也会影响到纸料的质量。用圆柱磨浆机进行磨浆时，磨浆温度是随着纸料浓度或磨浆压力的增高而升高，同时也随着磨浆机串联台数的多少而增减。具有封闭式进浆系统的磨浆机散热差，纸料出口的温度较高，这在夏季尤为突出。磨浆温度增高，对裂断长和撕裂度都是不利的。

5. 刀的材质与磨浆质量的关系

圆柱磨浆机转子和定子的材料种类很多，有碳素钢、合金钢、不锈钢、人造砂轮石和玄武岩等。刀的材质和刀厚及刀数等应根据纸料的性质、纸种的要求来选定，生产实践证明，钢刀的切断纤维能力较强，压溃与细纤维化能力较低，而石刀的切断纤维能力较弱，提高打浆度较显著，压溃与细纤维化能力较高。

四、锥形磨浆机

如图 2-1-36 所示，锥形精浆机主要是由锥形转辊和套在外边的铁壳两部分组成。转辊周围装有许多平行于转轴的长短刀片，刀与刀之间同样也楔入硬木以防摆动。锥形磨浆机的外壳也是圆锥形状，刚好套在转辊外边，内壁上装有呈八字形的固定刀片。转动手轮，即可移动转辊，从而调节转辊刀片与外壳刀片之间的距离，以适应磨浆工艺的要求。

刀片一般用钢材制成，也有用锰钢或铬钢制的。锥形磨浆机的转辊通常是铁质的，小型为一实心整体；大型锥形磨浆机则为了减轻辊重起见，也和打浆机一样，利用 3~4 块厚约 70 毫米的轮辐作为辊架，再在辊架周围安装刀片。外壳通常用两半或由四块厚约 70 毫米的铁壳组成，这种外壳装卸容易，便于检修。

锥形磨浆机的种类很多，根据它们的转辊线速、转辊圆锥度以及刀片厚度，可分为

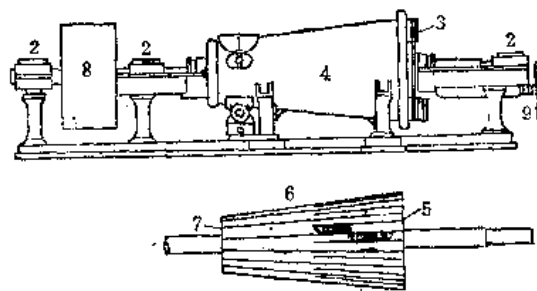


图 2-1-36 锥形磨浆机

1—进料口 2—轴承 3—出料口 4—铁壳 5—打浆刀 6—锥形转辊 7—硬木 8—皮带轮 9—手轮

下列三种类型:

(1) 普通锥形磨浆机: 又称低速磨浆机, 转辊转速一般在 600 转/分以下, 相当的线速度为 8/17 米/秒, 转辊圆锥度小于 22° , 刀片厚度一般为 6~10 毫米。这种磨浆机通常用来对经过打浆处理的纸料进行精磨均整, 也可以用来代替打浆机进行连续打浆。它的打浆性能是切断纤维的能力较强, 适合于书写纸、印刷纸和其他游离纸料的打浆。

(2) 高速锥形磨浆机: 转辊转速在 600 转/分以上, 线速相应约为 11/20 米/秒, 圆锥度为 $22^\circ \sim 24^\circ$, 刀片厚度一般略厚, 常用的是 6~12 毫米。高速锥形磨浆机的打浆性能特点是使纤维细纤维化的能力很强, 容易提高打浆度, 适合于中等粘状打浆之用, 例如电缆纸纸料的打浆。另外, 也常见用以处理水泥袋纸的纸料。

(3) 水化锥形磨浆机: 转辊线速高到 18/30 米/秒左右, 圆锥度约为 26° , 刀片厚度 8~12 毫米。这种锥形磨浆机细纤维化作用强, 切断纤维的作用小, 所以适应于粘状打浆的场合, 例如生产卷烟纸、水泥袋纸等的均整。

此外, 还有一种大锥度磨浆机, 用于生产水泥袋纸的效果良好。影响锥形磨浆机的主要因素, 包括纸料通过量、纸料入口和出口的压力、纸料浓度、转辊刀片和外壳刀片间的距离等, 这些因素所起影响, 大致与圆柱磨浆机的相同。

第五节 打浆辅助设备

打浆是造纸厂中最前面的一个工序。在这个工序里, 除了纸料的打浆和添加副料以外, 还有配合这些工作所必须的其他辅助设备 (如水力碎浆机、贮浆池等), 以及损纸处理和白水回收等设备。这些设备虽然并不是这一工序中的主体, 但却也很重要, 而且也同样会影响到纸张的质量。

一、水力碎浆机

水力碎浆机是用来处理浆板、损纸、废纸等的主要加工设备。实践证明, 水力碎浆机碎解浆板、损纸和废纸, 要比打浆机或石碾等碎解设备为好, 早已在这些方面获得广泛应用。它主要有下列几个优点: (1) 对纸浆只有分丝作用, 而没有切断作用; (2) 效率高, 碎解时间缩短, 电力消耗少; (3) 装置简单, 造价低, 占地面积小, 维护检修方便; (4) 需用劳动力少; (5) 可处理含有粗大杂物和金属杂质的废纸, 而不损坏设备。它的缺点是, 碎解后的纸料含小纸片较多, 碎解湿强度高的纸需要时间长、电力消耗大等。

按安装形式来分, 有卧式和立式两种, 其设备图见第一篇中废纸加工一章。在立式水力碎浆机中, 其盆底中央部位设有一转盘, 盘上装有若干片轮叶, 盘底四周则为装有多块刀片的固定盘。转盘通过转轴由设于下方的电机带动, 或者采用弹性联轴器、减速箱和刚性联轴器的办法与传动电机联接着。卧式水力碎浆机在结构上大体与立式的相同, 但转盘和固定盘均位于设备的一侧。通常采用的水力碎浆机转速为 200~500 转/分。

按生产情况, 水力碎浆机可分为间歇式和连续式两种。在连续操作中, 水力碎浆机

一面进行碎浆作业，一面又将已经碎解的纸料通过附于转盘上的环形筛板送到机体外的贮浆池或其他设备。当水力碎浆机开机时，首先开动电机，使转盘转动，然后注入白水，直至充满设备容积的一半左右，再放入浆板、损纸或废纸，借助转盘所产生的离心力，使浆板等与刀片碰撞，甩到设备的边缘，且沿着边缘上升，又再回落到转盘上，从而使纸料形成涡卷，来回与刀片接触，起到碎解作用。另外，由于转盘甩出的纸料向外流动，线速度逐渐变慢，从而使纸料彼此间发生摩擦，又进一步使纸料达到碎解的目的。由此可见，水力碎浆机主要是依靠转盘的机械作用，也有赖于纸料的摩擦作用，取得对纤维的离解作用。

在现代造纸厂中，多在造纸机压光部下方设置一台水力碎浆机，用以处理来自造纸机本身的干损纸，也同样用以处理复卷机或切纸机的干损纸。但是，在生产湿强纸张的工厂，则由于这类产品不易离解成浆，因此必须采取其他措施。例如，以三聚氰胺树脂作为添加剂的损纸，可以加用矾土，调整pH值至2~3以下，并加热至80~90℃以上，使在水力碎浆机中获得离解、分散，这是需要特别注意的一个问题。

二、贮 浆 池

纸料从打浆工段送到造纸车间，存放于贮浆池。为保证纸机均衡并连续生产，为提供浓度和打浆度均匀且稳定的纸料，应在造纸机前设置一定数量的贮浆池。贮浆池容积大小及个数决定于纸张种类、打浆方法、纸料配比、纸机能力等条件。如果使用单一浆料，又是连续打浆，一般只要配置2~3台贮浆池，分别贮存打浆后纸料、损纸纸料和混合纸料。如采用间歇式打浆，则除设一损纸浆池外，还要另外设置两台贮浆池轮流使用。如采用几种纸浆分别打浆，然后混合抄纸时，则除设一台混合浆池和一台损纸浆池外，每种纸浆应各设一台贮浆池。贮浆池的容积视生产规模而定，大型高速纸机要求满足30~60分的纸料需要量，中型、小型纸机以满足2~4小时的纸料需要量。对于质量要求高的品种，混合浆池的贮浆量应较大，以保证纸料质量的稳定。抄造色纸时，贮浆池的容积大些，可起稳定纸张色度的作用。贮浆浓度一般为3~5%。

贮浆池主要是用以贮存和混合纸料，但是，也可以在贮浆池内进行施胶、加填和染色。

贮浆池有卧式和立式两种。搅拌装置可分为桨叶式，蜗轮式，螺旋桨式和外流循环泵式等。立式贮浆池为钢筋混凝土或砖石结构的圆筒形贮槽，一般容积较小，只适合于中小型纸厂。

通常多采用卧式贮浆池，它一般是钢筋混凝土构成，有的池壁砌以磁砖。池体成长方形，池内分隔成两或三道浆沟，池的一端设有螺旋桨式或蜗轮式推进器，强制纸料在池内进行循环。循环沟底部具有2~3°的倾斜坡度，沟底两侧做成圆角，在纸料转弯的地方作成圆弧形。浆池的几何尺寸对纸料的循环和混合影响很大，设计良好的贮浆池，可大大避免有停浆或死浆情况。卧式浆池一般容积较大，常见的有25、75、100及150~200米³等。

另一种卧式贮浆池采用循环泵来搅拌纸料，如图2-1-37所示。这种贮浆池适用的浆浓为3.5~6%，其循环泵安装在池外，安装和检修方便。由于它具有电耗低、重量

轻和浆池结构简单等特点，也应用得较普遍。表 2-1-13 示出循环泵配套浆池主要尺寸。

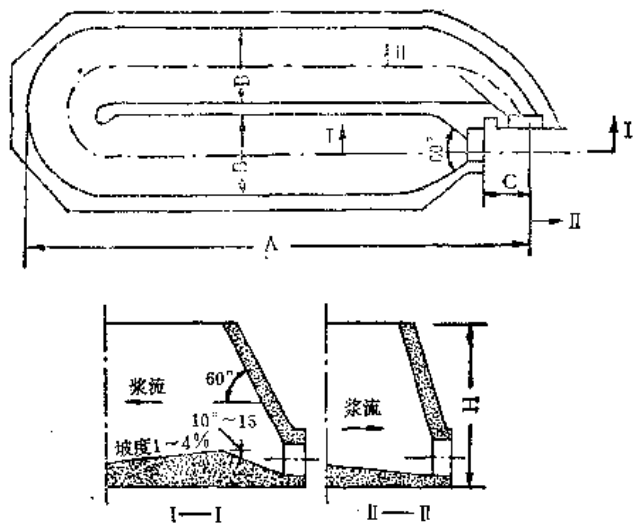


图 2-1-37 循环泵卧式贮浆池

表 2-1-13 循环泵配套浆池主要尺寸表

浆池容积 (米 ³)	浆池主要尺寸				浆料浓度 (%)	循环泵		
	长 A (毫米)	沟宽 B (毫米)	C ^①	池高 H (毫米)		口径 (毫米)	转数 (转/分)	功率 (千瓦)
25	5500	1200	302	2700	3.5	4350	400	4
25	5500	1200	302	2700	6	4350	500	5.5
50	10000	1200	302	2700	6	4350	600	7.5
50	7500	1400	302	3000	3.5	4350	500	5.5
80	11000	1400	302	3000	3.5	4350	600	7.5

① C 为浆泵进口中心线与出口平面的距离。

三、浓度调节器

为了使纸机操作稳定，成纸厚薄均一，上网纸浆浓度必须前后一致，因此要采用浓度自动调节器来保证纸料浓度波动不超过规定范围。浓度调节器一般安装于贮浆池之后。浓度调节器有透平式(卡里式)、电动刀式、摩擦式、春拜式、谢鲁式等，其中谢鲁式在国内工厂中已不常用。现将国内常用的前两种分述如下：

(一) 透平式(卡里式)浓度调节器

透平式为中浓浓度调节器，适用浓度范围为 2~6%，它主要由调节器和油压控制器两部分组成。调节器如图 2-1-38 所示，不锈钢轴 1 与盛水的旋转容器 2 和叶轮 3 连接并由滚珠轴承 4 和 5 支持。

经减压阀减压以后的低压水以 $1.962 \sim 4.905 \times 10.5$ 牛顿/米² 的压力，经过喷嘴 6 喷射在叶轮上，从而使旋转容器和钢轴发生旋转。由于水压一定，旋转容器的转数便随旋

转桨 7 在纸料中所受阻力而变化，纸料所构成的阻力则取决于纸料浓度。旋转容器中，水面依着转动的情况形成抛物线状。抛物线水面随转数而变化，转数愈高，水位也就愈低。

从油压控制器来的气流，经软管接口 8 和管 9 进入旋转容器中并构成气泡，通过水面放出。气流所受阻力随着旋转容器 2 中水面抛物线的形状而变动，这样又会影响到油压控制器的推力作用，从而稀释纸料的水阀得到调节。

透平式浓度调节器装置如图 2-1-39，Z-15 型油压式控制器如图 2-1-40。控制器外壳侧面有一压力圆筒 13，其柱塞杆 17 通过钢丝绳操纵控制稀释水的阀门，阀门上有一平衡锤或弹簧将柱塞 19 往上拉，控制器内油泵从空气扩散室 16 的 9 处抽油，迫使油通过压力室 5 及管道 11 进到圆筒 13，在圆筒内油的压力正好作用于柱塞 19 之上，使其往下移动。

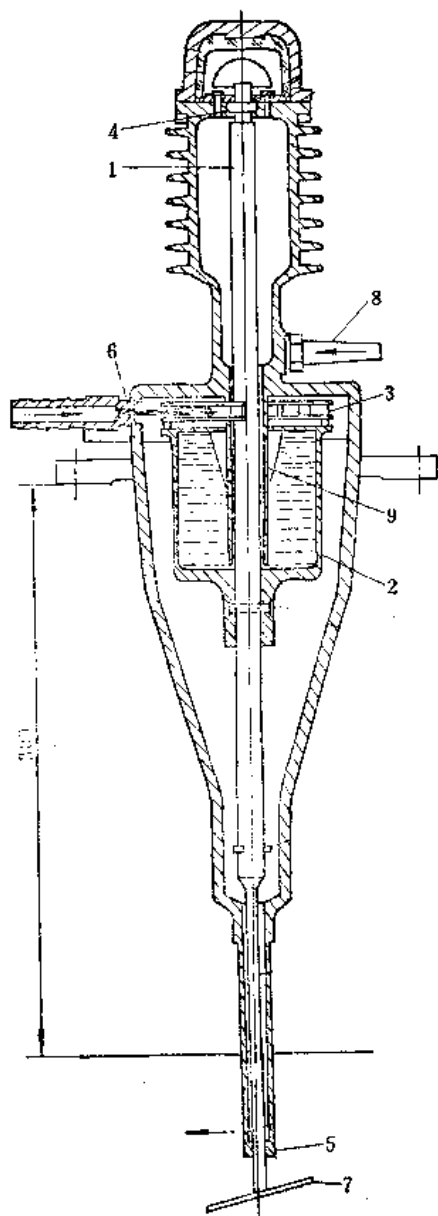


图 2-1-38 透平式浓度调节器

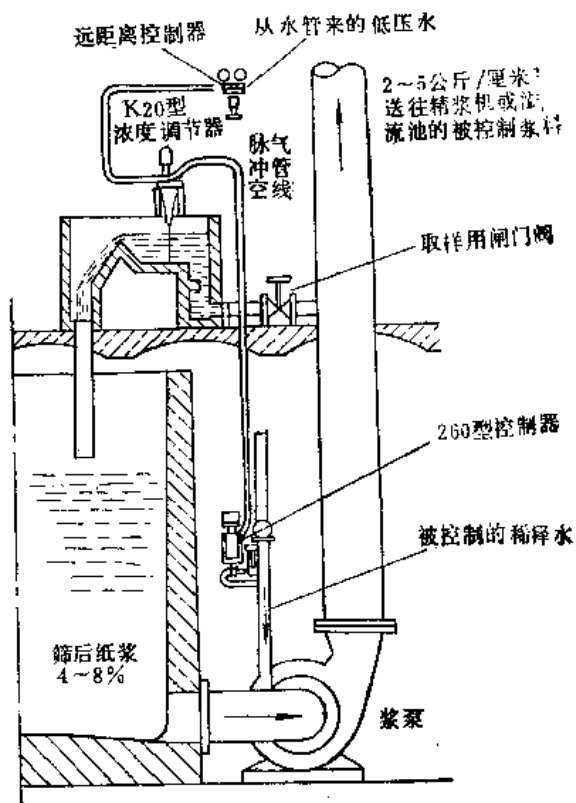


图 2-1-39 透平式浓度调节器装置

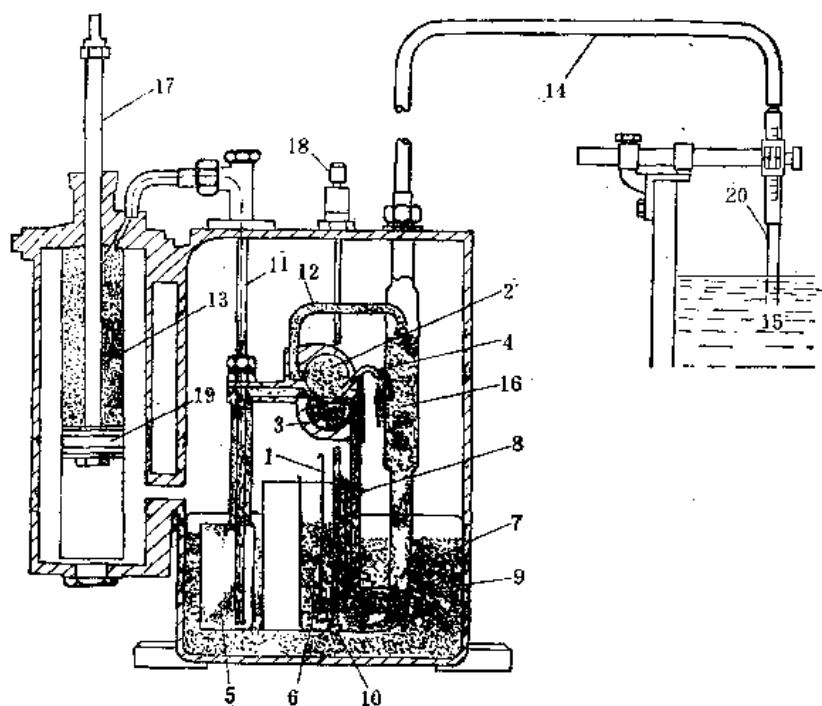


图 2-1-40 Z-15 型油压式控制器

空气扩散室内的油位应在开口 9 之上。如果油位低于开口，则油泵不可能抽到任何油，此时，柱塞 19 的压力将等于零，控制阀门的平衡锤或弹簧即将柱塞往上拉，迫使圆筒内的油经小孔 3 回到空气扩散室。

油泵从 4 处抽进极小量空气，连同若干数量的油经过小孔 3 回到空气扩散室，在该处空气是与油分离的，空气可以通过脉冲管 14 到浓度调节器的管 11。当纸料浓度较大时，即会使调节器转轴 9 的转数降低，使旋转器中的水位变高，因而增加了空气逸出时的阻力。此时，即会加大空气扩散室内的压力，这样油位又会下降，油泵也就抽不着油，柱塞上的压力减少，柱塞向上移动，开启阀门使稀释水量增加，从而降低了纸料浓度。

(二) 电动刀式调节器

电动刀式调节器也是常用的，亦为中浓（2~6%）纸浆浓度自动调节器，它是由纸浆浓度变送器、电动显示记录调节器和电动执行机构组成的组合仪表。其基本工作原理，是由纸浆浓度变送器把浓度信号检测出来，转变成电讯号，经显示记录仪显示记录，并经电动调节器进行比例、积分、微分调节，调节后输出 0~10 毫安讯号，再经电

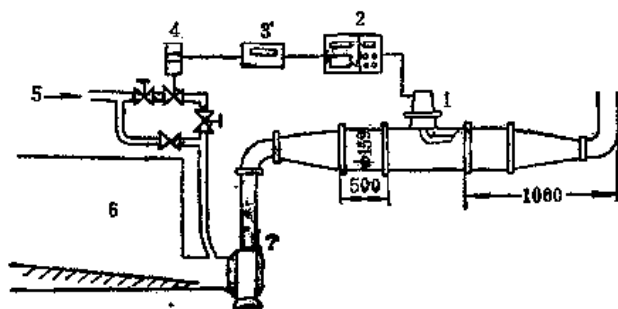


图 2-1-41 电动刀式浓度调节器系统示意图

- 1—浓度变送器 2—显示记录调节器 3—伺服放大器
4—电动执行器 5—稀释水 6—贮浆池 7—浆泵

动执行机构调节稀释水量，达到纸浆浓度的自动恒定。图 2-1-41 为电动刀式浓度调节器系统示意图。

电动刀式纸浆浓度变送器是根据力平衡原理,将纸浆浓度对刀的剪应力,通过杠杆作用、位移检测和晶体管放大,变成0~10毫安直流讯号,此电流流经永久磁场内的动圈,产生一作用力,使杠杆返回平衡状态,同时,将此电流讯号输出,供给显示记录调节器。

调节器的主要技术特性是:测量范围为2~6%浓度,输出电流为0~10毫安,灵敏度为0.05%浓度,滞后时间 ≤ 1 秒,供电电源220伏,50赫芝。调节器的工作条件是:使用流速范围0.2~1.2米/秒,环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $<95\%$ 。

纸浆浓度变送器安装在浆泵出口的管道上,可以水平安装或垂直安装。如原管道直径小于 $\phi 159$,则应在变送器两头添加有锥度的喇叭管,变送器前应有500毫米长的 $\phi 159$ 毫米直管。变送器后如管道要拐弯,则要求出口至拐弯处要有一米长的距离。

变送器安装管道要求固定牢靠,尽量避免管道振动。仪表附近不应有强大磁场存在。

电动显示记录调节器是XD系列带电动调节器的XD-400型仪表,它从浓度变送器中获得对浓度检测的电讯号,进行测量记录,并通过电动调节器进行比例、积分、微分连续调节,同时输出0~10毫安调节讯号给电动执行机构。

电动执行机构是由DF-1型伺服放大器和ZDA型(或DKZ型)直行程电动执行器及口径40毫米(或50毫米)的双座调节阀组成。它接受0~10毫安调节讯号,将其转换成与输入信号相对应的线性位移,操纵调节阀,完成自动调节任务。

主要参考文献

1. 天津大学等院校:制浆造纸工艺学,中国财政经济出版社出版,1961年,第312~355页。
2. 隆吉泉:造纸工学,高等教育出版社出版,1959年。
3. 北京轻工业学院:造纸工艺学,中国财政经济出版社出版,1962年,第26~67页。
4. R. G. Macdonald: Pulp and paper manufacture, Vol. III. (1970), p. 131~183.
5. C. E. Libby: Pulp and paper science and technology, Vol. II. (1962), p. 1~40.
6. J. P. Casey: Pulp and paper, Vol. II. (2nd Ed.) p. 581~664.
7. H. W. Emerton: Fundamental of the beating process (1957).
8. F. Bolam: Fundamentals of papermaking fibres (1958), p. 229~262.
9. T. Iwasaki: The effect of ultrasonic treatment on individual wood fibres, Svensk Pappers-tidning 65 Nr. 20:795 (1962).
10. 打浆过程麦草纤维细胞壁的变化,造纸技术通讯,1978年,第4期,第32~43页。
11. G. Nederveen: Studium des Mahlprozesses, Das Papier, Nr. 4:168 (1964).
12. D. H. Page: The delamination of fiber walls by beating and refining, Tappi 50, №10:489 (1967).
13. H. L. Baumgarten: Theorie und Wirkung der Zellstoffmahlung und anderer Faserumformprozesse, Das Papier 31, Nr. 10 A:108 (1977).
14. J. E. Levin: Über die Bedeutung der Mahlweise bei der Mahlung verschiedener Zellstofftypen, Das Papier 30, Nr. 10 A:33 (1976).
15. R. P. Kibblewhite: Effect of beating on fibre morphology and fibre surface structure, Appita 26, №3:196 (1972).
16. 磨盘齿型、材质对磨料效果的影响,造纸技术通讯,1975年,第4期,第33~44页。
17. E. Giese: Veränderungen der Eigenschaften von Faserstoffen im technologischen Prozess. Zellstoff und Papier Nr. 2:54 (1978).
18. F. Wultsch: Möglichkeiten der Energieeinsparung bei der Mahlung von Faserstoffen. Wochenblatt für Papierfabrikation Nr. 17:663 (1977).
19. 电动刀式纸浆浓度(中浓)调节仪,造纸技术通讯,1976年,第6期,第19~21页。

第二章 调 料

“调料”一词是施胶、加填、染色和添加其它助剂等几个工艺过程的总称。但是，这并不意味着一切纸张都必须经过所有这些生产处理过程。

调料的目的是从不同角度，改进纸浆和纸张的有关质量指标，或者同时提高各种添加剂的利用效率。

施胶是使纸张获得抗拒流体渗透能力为目的。加填的具体目的是改善纸张的某些物理性能(如不透明性、白度、平滑度等)、机械性能(如柔软性)和适印性能。染色的具体目的则是要赋予纸页以所需的色泽。至于其它添加剂的使用，则或是增加纸页的干、湿强度，或是提高各种添加剂在纸页中的留着率，或者是增加纤维的滤水速率，或者是消除工艺过程中出现的泡沫等，要求各又不一。

第一节 施 胶

一、施胶目的和施胶方法

习惯上，施胶是指使纸和纸板取得抗水性能的加工程序。事实上，就广义而言，施胶是指对纸浆、纸张或纸板进行处理，使获得抗拒流体渗透的性能。抗拒流体渗透性能包括抗水(例如包装用纸板)、抗墨水(例如书写纸)、抗油(例如食品包装纸)、抗拒印刷油墨(例如印刷纸)等，同时也包括抗拒水蒸汽(例如纸袋纸)、抗血(例如鲜肉包装纸)等。

大多数纸和纸板是经过施胶的，也有一些纸张和纸板并不需要施胶，主要取决于纸和纸板的用途。后者称为不施胶纸，包括要求具有一定吸液性能的纸种，例如卫生纸、滤纸、吸墨纸、浸渍加工用原纸(蜡纸、育苗纸等)、变性加工原纸(羊皮纸原纸、钢纸原纸)等；另外，也包括大多数电气绝缘纸(例如电缆纸、电话纸、电容器纸等)以及卷烟纸等。要求施胶加工的纸种，称施胶纸，大致包括下列几大类：(1) 包装纸和纸板；(2) 纸袋纸；(3) 书写纸；(4) 制图纸；(5) 印刷纸(特别是胶版印刷纸)；(6) 建筑用纸和纸板(例如糊墙纸、建筑纸板等)；(7) 瓦楞纸板等。

为了取得不同施胶效果，可采用不同的施胶方法。目前应用的施胶方法有内部施胶和表面施胶两种方法。根据纸张和纸板的质量要求，施胶程度又可分为重施胶(例如书写纸)和轻施胶(例如包装纸)。

在纸浆中加施胶剂，再抄成具有憎液性能的纸和纸板，称为内部施胶或纸内施胶。这是施胶的主要方法。

将纸或纸板浸入施胶剂溶液中，借以取得抗液性能，则称为表面施胶或纸面施胶。早期手工纸生产多采用表面施胶，直至十九世纪初，随着造纸工业机械化的实现，才被

内部施胶所取代。近年来，表面施胶已逐渐演变成为提高施胶效果的一个重要手段，但也有以其作为取得某些特殊施胶效果(例如抗拒水蒸汽的性能)的必要加工程序，可以直接对没有经过内部施胶的纸和纸板，进行表面施胶。也可以对纸浆进行内部施胶处理，抄成纸或纸板后，再进一步作表面施胶加工。

获得广泛应用的施胶剂是白色松香胶，有个别造纸厂仍沿用褐色松香胶。国际上，则趋于采用部分强化松香胶取代白色松香胶，并有向合成胶料发展的趋势。

二、内部施胶

(一) 施胶程序

施胶操作可以在打浆完毕后实施，或在打浆机内对浆料添加施胶剂，或在打浆后使浆料在适当设备内(例如双管施胶机)与施胶剂充分混合，实行连续施胶。要取得预期施胶效果，除加松香胶外，还必须加用矾土溶液作为沉淀剂。在加矾前，要设法使松香胶在浆料悬浮液中获得均匀分散，否则难以取得良好的施胶效果。

在打浆机内进行施胶，可在结束打浆操作前 30 分钟左右，加入松香胶(浓度约 20 克/升)，使随同浆料在打浆机内循环，借以保证松香胶能更均匀地分散于浆料中。经过 10~15 分钟后，再加矾土溶液(浓度 5 克/升 Al_2O_3 以上)。

如采用连续打浆操作，则可在打浆后配浆箱和贮浆池分别加胶加矾，也可以在双管施胶机的第一根施胶管进口端加胶，在第二根施胶管进口端加矾。

实践证明，施胶时的温度和 pH 值，均对施胶效果有较大影响。一般认为，施胶温度以 20~25℃为宜，pH 则应在 4.5~6.5 之间。

施胶效果既与施胶操作有关，而更重要的是决定于施胶剂和沉淀剂的选用和用量。施胶剂用量的多少取决于其本身的性质，同时又与纸浆类别有一定关系。

不同浆种具有不同施胶反映。实践证明，草浆比木浆易施胶；未漂浆比漂白浆易施胶；磨木浆的施胶要比化学木浆容易；而棉麻纤维和精制浆施胶最难。施胶难易又与制浆方法有关，例如，硫酸盐浆要比亚硫酸盐浆较易施胶。从各种纸浆施胶难易的实际情况，可以看到，“纤维素含量愈多，施胶愈困难，而半纤维素含量愈多，愈有利于施胶。据认为，半纤维素含量小于 4.5% 的纸浆，施胶即显得比较困难。有人认为，不同浆种施胶效果从易到难的顺序是：磨木浆 > $\begin{matrix} \text{竹浆} \\ \text{草浆} \end{matrix}$ > 未漂硫酸盐木浆 > 未漂亚硫酸盐木浆 > 蔗渣浆

> 半漂硫酸盐木浆 > $\begin{matrix} \text{漂白硫酸盐木浆} \\ \text{漂白亚硫酸盐木浆} \end{matrix}$ > 半漂半化学浆 > 精制浆 > 棉浆。这些基本规律对指导施胶操作，是具有一定意义的。

当然，施胶剂用量的多少，主要还是取决于要求达到的施胶程度，即纸张质量标准规定的施胶度指标。仅以松香胶为施胶剂，现列出几种纸张的胶料用量作为示例，以供参考(表 2-2-1)。

从表 2-2-1 可见，大多数纸张的施胶量为 0.5~2.0% (对绝干浆量，下同)，少数纸张用 3.0~4.0% 松香胶。增加松香胶用量，并不意味着能够按比例提高施胶度。实践证明，在 0.75~1.5% 施胶量范围内，增加松香胶用量，对提高施胶度起着较显著的效

表 2-2-1

几种纸张用胶量示例

纸 种	新 ^② 闻纸	胶版 印刷纸	凸版 印刷纸	书写纸	纸袋纸	鸡皮纸	包装纸	有光纸	打字纸	书皮纸	涂布 纸原纸	帐簿纸	纸板 面层	箱纸板	瓶盖 用纸板
施胶度 ^① 指 标	—	0.75~ 1.25	0.25	0.5~ 1.25	1.75	0.5	0.5~ 1.25	0.25	0.25	1.0~ 1.25	0.5~ 0.75	0.75~ 1.0	—	—	—
松 香 胶 用量(%)	0~ 1.5	2.0~ 3.0	0.5~ 1.5	1.5~ 3.0	1.5~ 3.0	1.0~ 1.5	1.0~ 3.0	0.5~ 2.0	1.0~ 2.0	2.0~ 3.0	0.5~ 1.5	1.5~ 2.0	1.0~ 2.0	3.0~ 5.0	3.0~ 4.0

① 施胶度测定采用墨水划线法,以线条宽度(毫米)为标准(见 GB 460-64,《造纸工业产品试验方法标准汇编》,技术标准出版社,1973年,p.23~24)。

② 卷筒新闻纸大多不施胶。平板新闻纸可以考虑适当施胶,以适应在其他方面使用的需要。

果。用胶量超过3%,再多增加松香胶,不一定能取得很大改进。基于这个原因,施胶量很少超过4%。

一般认为,采用矾土(硫酸铝)作为沉淀剂,其量应为松香胶量的1.5~2.5倍。如果生产用水硬度较大,则应适当增加矾土用量。在实际生产中,矾土用量有时达到松香胶量的4~5倍。

如果在配浆比率中掺用损纸浆,可以适当减少松香胶和矾土用量,因为损纸浆本身带有胶料和矾土。

能否确切保证取得预期施胶效果,既取决于胶料和矾土的用量,又依赖于施胶操作,而更重要的是取决于松香胶的质量。因此,对松香胶的制备,必须给予应有的重视。

(二) 松香胶的制备

1. 白色松香胶的熬制和乳化

如前述,国内造纸工业多采用白色松香胶作为施胶剂。白色松香胶(简称白色胶或酸性胶)是指游离松香含量在10~45%范围内的胶料,常用的白色胶,其游离松香含量为20~30%。

白色胶是由松香和纯碱(或烧碱)制成,其制备过程包括熬制、乳化和稀释三个基本步骤。

松香胶的熬制通常是在熬胶锅内完成。国产松香皂化锅定型设备(型号ZDX-1),可以满足一般造纸厂的需要。这一型号松香锅容积为1立方米,锅体直径1050毫米,高1525毫米;锅内设有搅拌装置,由2.2千瓦电动机通过减速装置带动(见图2-2-1)。锅体下半部(约为锅体总高的三分之一)设有夹套,供通汽间接加热用。在夹套外壁,引出压力管,安设压力计。在锅体上部,又设有宽约100毫米的冷却水套(图中未示出),供通入冷水使锅内物料获得降温,防止物料随同熬胶时产生的泡沫外溢。锅盖由薄铁板制成,一半固定在锅顶,另一半则可以掀开,供装料用。卸料口设于锅体底部,与放料阀门和放料管道相连接。制备白色胶时,放料管道又与过滤器和喷射乳化器相连接。打开放料阀门,即可将锅内松香胶卸出,使其通过松香胶过滤器,进入喷射乳化器,得到乳化,流入乳化槽。也有设置中间贮存槽,承受来自熬胶锅的松香胶,并通过间接加热使其温度保持在70~80℃,俟乳化时,再令其通过喷射乳化器。

通常可采用下述方法熬制白色松香胶。先在熬胶锅内注入80~150升清水(约相当

于松香量的 60~75%)，开动搅拌器，并通汽加热，再加 21~32 公斤纯碱(约相当于松香量的 14~16%)。俟纯碱全部溶解后，在 15~20 分钟内，缓慢地加入 150~200 公斤松香块(事先将松香砸成核桃大小的块状)。熬制 2~6 小时，直至用棒挑起胶料时，胶料成片状流下，而不是成条连续往下流动；且呈透明状，不含粒状或块状物质，也没有气泡夹在其中，即为合乎需要的松香胶。这样制得的松香胶含游离松香在 15~25% 左右。

熬胶时，通汽压力一般表压为 $4.91 \sim 19.62 \times 10^4$ 牛顿/米² (0.5~2.0 公斤/厘米²)，视熬制情况适当控制。增大汽压，即可相应地提高反应温度，有利于加快反应速率。但是，如果松香和纯碱反应过快，则又会产生大量泡沫，锅内液面急剧上升，易于造成锅内物料外溢事故。当然，由于熬胶锅锅体上方设有冷却水套，对上升的液面起降温作用，能使泡沫逐渐消失，液面亦会随之下降。不过，主要还是要确切掌握蒸汽压力，务使松香和纯碱的反应温度不超过 102~105°C，这样能更有效地保证不致发生外溢事故，最好不要使用冷却水套来解决泡沫外溢的问题。用烧碱熬制松香胶，不会产生泡沫，因此，对汽压和温度，可以不必过于严格要求。

熬胶完毕，即可打开放料阀门，使浅褐色胶料通过管道和过滤器(滤过筛子可用 20~30 目铜网构成)，除去大块胶料和其他杂质，然后进入喷射乳化器，与 $5.89 \sim 6.87 \times 10^5$ 牛顿/米² (6~7 公斤/厘米²) 表压蒸汽和 80°C 温水混合，借以充分分散松香胶颗粒，并将其直接喷入乳化槽，即可制得白色松香胶。乳化槽可以是钢筋混凝土结构，事先盛有 20~25°C 清水，清水量应达到稍多于乳化槽容积的三分之一。喷射乳化结束后，可加冷水稀释乳化槽内乳白液，直至其浓度达到 20~25 克/升左右，并维持在 35~40°C 以下的温度。与此同时，开动乳化槽附设的搅拌装置或胶料泵，使乳化液获得充分混合，保证稀释度均匀一致。最后，或在乳化槽中，或转送到沉淀槽内，任其静置沉淀 8~12 小时，再用泵送至贮存槽备用。

喷射乳化器是由铜制或青铜制喷射管构成。如图 2-2-2 所示，在喷射管上部，设有联管节，用以连接安设胶料管和温水管的法兰盘。连接蒸汽管用的法兰盘和喷汽嘴，则通过另一联管节，跟胶料管和温水管的两个法兰盘连接在一起。

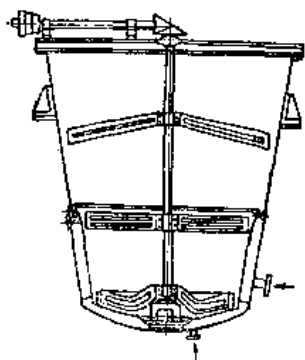


图 2-2-1 熬胶锅

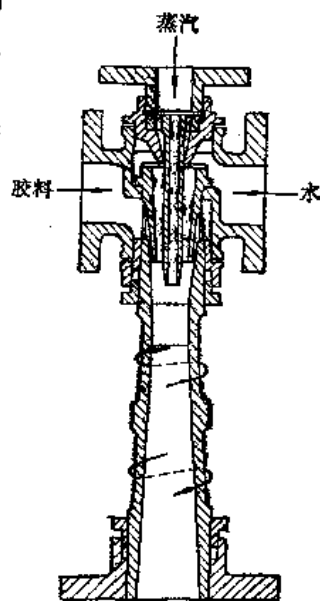


图 2-2-2 喷射乳化器

操作时，先打开温水阀门，然后通入蒸汽，再送胶料。胶料进入喷射乳化器后，即被温水稀释。由于蒸汽的抽吸作用，稀释胶料随即进入喷射管部分；此时，胶料又受蒸汽的冲击作用，得到分散。显而易见，蒸汽压力的大小直接关系到胶料颗粒的分散程度。一般认为，喷射用蒸汽压力应为 $5.89 \sim 6.87 \times 10^5$ 牛顿/米²（6~7 公斤/厘米²）表压；在这种情况下，约在 10 分钟内即可完成 100 公斤松香胶的乳化，其蒸汽用量仅需 90~125 公斤。常见的喷射乳化器长约 400 毫米，进口端直径 35 毫米，出口端直径 50 毫米。

在整个制备过程中，必须注意掌握熬胶、乳化和稀释的工艺条件，保证制得质量良好的白色松香胶。

2. 褐色松香胶的制备

褐色松香胶(简称褐色胶)是指不含游离松香、完全皂化的胶料(实际上，褐色胶总是带有少量游离松香，含量不超过 5%)。

褐色胶的熬制方法，基本上与白色胶相同，不过，为使松香获得完全皂化，用碱量和用水量均要相应增加。一般来说，纯碱用量需要达到 16~18% (对松香量)。而用水量则为松香量的 80~120%。熬成胶料，不经过乳化，而是直接加水稀释。稀释时，加以搅拌，然后任其静置一定时间，去掉表面游离碱，即可直接供施胶用。褐色胶是接近完全皂化的产物，因此，又称中性松香胶。

上面讲过，褐色胶是接近完全皂化的胶料，其施胶作用在很大程度上依靠化合松香(松香酸钠)水解而生成的游离松香，施胶效果远远不如白色松香胶。为此，褐色胶多用于小型纸厂，偶而也用于某些特殊情况。

实践证明，褐色胶比较适用于未漂浆的施胶，主要是由于化合松香水解生成游离松香和氢氧化钠，未漂浆吸附氢氧化钠的性能较强，有利于促进化合松香的水解。反之，漂白浆吸附氢氧化钠的性能较弱，使用褐色胶，不易取得良好的施胶效果。

在单烘缸造纸机上抄制的纸张，有时也采用褐色胶进行施胶，借以解决施胶两面性的问题。单烘缸造纸机的烘缸表面温度较高，一般多在 120℃ 左右，紧贴烘缸表面的纸面(光面)的施胶度，往往不如另一面(毛面)，这是施胶两面性的一种表现。采用白色胶时，这一现象较为突出，可能是由于白色胶在矾土作用下形成的沉淀物的熔点只有 95~115℃，低于烘缸表面温度，这样就有可能导致沉淀物部分地向外迁移，造成纸张光面施胶度较低的结果。改用褐色胶，其与矾土构成的松香酸铝沉淀物熔点达 135~140℃，能够比较好地保持纸张两面施胶度的一致。

当生产用水硬度较大，以褐色胶施胶，会有较多困难。可能是由于硬水中钙离子易与松香酸根构成不溶性松香酸钙所致。

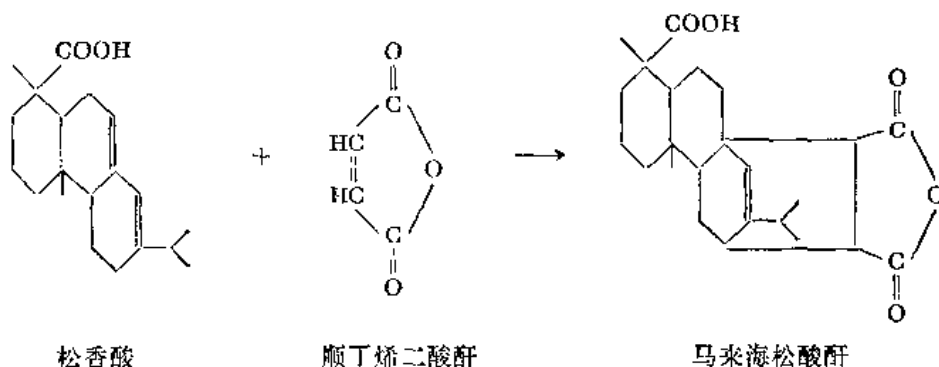
总之，褐色胶的制备虽然比较简单，但由于施胶效果稍差，因此多限于小型造纸厂采用。

冷法松香胶(简称冷法胶)实质上属于褐色胶范畴。冷法胶是由液体氢氧化钠和松香在常温下制得，略呈碱性(pH 8)。由于冷法胶带有少量游离氢氧化钠，比较适用于磨木浆的施胶，并有助于减少松木磨木浆的树脂障碍。但是，使用冷法胶施胶，易于出现“假施胶”，为此，冷法胶没有得到广泛的应用。有关“假施胶”的问题，后面再加阐述。

3. 强化松香胶的制备

松香胶用于施胶，起作用的重要官能基是羧基。如能设法增加松香的羧基数量，可望提高松香的施胶效能，这就是制备强化松香胶的理论根据。

仅以马来松香胶作为示例，说明强化松香胶的制备情况。用5~7% 顺丁烯二酸酐(即马来酐)或4~5% 反丁烯二酸(即富马酸)，与松香在200~220°C下共熔，历时30~60分钟，可制得形状近似松香的缩合物，有如下式所示：



也可以采用其他二烯亲和物取代马来酐。必要时，还可以加2.2% 仲甲醛和0.1% 甲苯磺酸，在160°C下加热20分钟，借以减少结晶。

由上列反应式可以看到，制得的加成物具有三个羧基，其酸值为180~200，熔点为215~217°C。以4%左右氢氧化钠(或15%左右碳酸钠)对其进行皂化，再使之在水中分散，即可制得马来松香胶。马来松香胶具有良好的抗墨水(或其他胶体悬浮液)的性能，但憎水性能稍差，其价格又较高，为此，通常多与白色松香胶配合使用。可以与普通松香一块熬制和乳化；也可以分别熬制和乳化，稀释后再按比例混合备用。还可以在纸浆中先加白色松香胶，后加强化松香胶，再加矾土，调节pH至4.2左右，以取得预期施胶效应。生产实践证明，以强化松香胶取代10~50%白色松香胶，能节约施胶剂用量25~30%以上。强化松香胶能适应较高干燥温度，因此，极其适用于在大直径单烘缸上进行干燥的施胶纸张。

(三) 矾土液的制备及其他沉淀剂的应用

前已述及，施胶常用的沉淀剂为矾土(又称造纸明矾)，其主要组成为结晶硫酸铝，带有14~18个分子的结晶水，其 Al_2O_3 含量约为14~15%。矾土有碱性和酸性两种类型。碱性矾土是指 Al_2O_3 含量较 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 分子式中理论值约多0.15~1.0%的产品，酸性矾土则指含有过量游离硫酸的产品。施胶以采用碱性矾土为宜；如生产用水硬度较大，则可以考虑改用酸性矾土，但其游离硫酸含量不宜超过0.5%，否则易于导致松香胶发生分解，同时又会妨碍氢氧化铝的生成，并会腐蚀设备。无论是选用碱性矾土还是酸性矾土，其杂质含量都不能过多，特别是铁盐含量更不能太高，否则将会与松香胶和染料发生化学反应，影响纸张色泽。一般认为，用于新闻纸的矾土，含铁量不应超过1% Fe_2O_3 ，而用于书写纸、印刷纸等，则不应大于0.3% Fe_2O_3 。

矾土极易溶解，溶液呈酸性，具有腐蚀性能。溶解槽、贮存槽、计量槽、矾土液泵以及输液管道和阀门，均应采取耐腐蚀措施。溶解槽、贮存槽、计量槽等应采用耐腐蚀

材料制成，例如塑料板焊接结构、塑料板或玻璃钢衬里的钢筋混凝土结构、衬铅板木结构等。矾土液泵可采用塑料泵，也可以采用泵壳内壁和叶轮均包有耐酸橡胶（或涂环氧树脂）的普通离心泵，其转轴则用不锈钢制成。输送管道最好选用塑料管，阀门则可选用不锈钢或塑料制成。

溶解矾土可以直接加冷水，使矾土在常温和搅拌作用下获得溶解。可通压缩空气起搅拌作用，也可以利用泵抽送液体，使起循环混合作用。为了加速溶解，又可采取加热溶解的方法。通常，可在矾土中加适量清水（约为矾土量的 18~20 倍），直接通汽至沸腾，并开动搅拌器使之混合。经 20~30 分钟，溶液全部呈透明状，即可停止通汽，停止搅拌，任其静置澄清，冷却至 35°C 左右，方可用泵抽送至贮存槽。施胶使用矾土液时，最好能予以过滤。

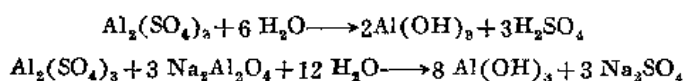
制成的矾土溶液，浓度约为 2~3°Bé，比重 1.02~1.03，大致相当于 5.6~7.5 克 Al_2O_3 /升。对矾土液浓度并无很严格的要求，有些工厂采用较高浓度，也没有发现有什么问题。

在矾土供应短缺或其他特殊情况下，也可以采用普通明矾、硫酸高铁、铝酸钠、氯化铝等取代矾土。

普通明矾是指硫酸铝跟硫酸碱金属盐构成的复盐，即 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{M}_2\text{SO}_4 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$ ，式中 M^+ 可为 K^+ 、 Na^+ 或 NH_4^+ 。用于施胶，用量既多，效果又不如矾土。非不得已，最好不要使用。

硫酸高铁一般为黄色粉末，溶解后能与松香酸构成黄色沉淀物（松香酸铁），只限用于低级本色纸张和低级色纸生产的施胶。为取得良好施胶效果，在施胶操作中应设法维持 pH 值在 2.5 左右。

铝酸钠为白色晶体，其分子式为 NaAlO_2 、 $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ 或 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，易溶于水，呈碱性，其有关容器、管道、阀门和泵等均可采用铁制或碳素钢制成。铝酸钠溶液的浓度一般约为 5~15% 即可。使用铝酸钠的工厂大多趋于采取与矾土混合的方法，以利于在较高 pH 值情况下，改进施胶效果。实践证明，混合使用铝酸钠和矾土时，可以在 pH 5.0~6.0 的情况下，取得良好的施胶效应。在操作中，只要改变两者的比例，即能控制施胶时的 pH，以及所需氢氧化铝含量。这一情况决定于两者的反应方式：



科学研究工作指出，由于铝酸钠溶液带有 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 离子，易于与松香酸结合，从而提高施胶效果。从上述情况可见，以铝酸钠取代部分矾土，不但可以不必在施胶操作中过分强调 pH 值的调整，而且还可以减轻腐蚀性的危害。

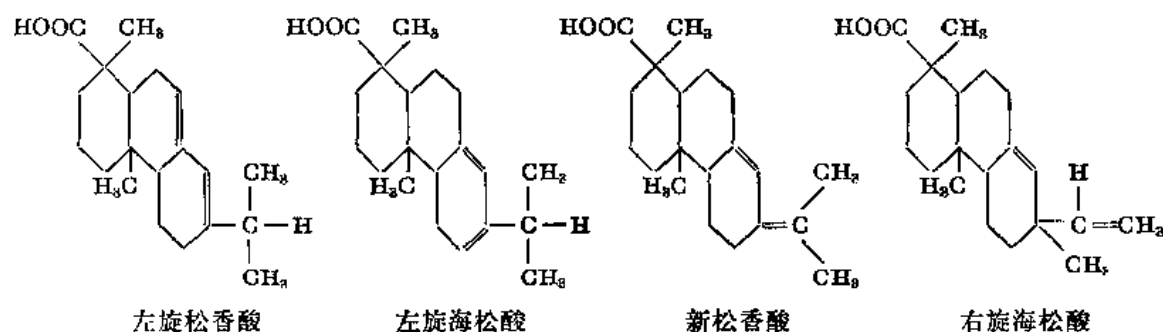
氯化铝 AlCl_3 的施胶效果远远不如矾土，且价格又高，一般多限于加有三聚氰胺甲醛树脂湿强纸的施胶，以取代矾土，因为矾土中 SO_4^{2-} 离子会影响到这类湿强度剂的效果。

另外，有些工厂又在施胶过程中加矾之前，加用硫酸，调节浆料的 pH 值，也能有助于提高施胶效果。单独使用硫酸，并不能取得与矾土混合使用的效果。在生产色纸时，应避免加用硫酸，否则纸张的色泽会受到不必要的干扰。

(四) 制备松香胶的基本原理

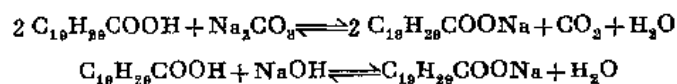
国产松香按色泽分九个等级，以深色透明者为上品。一般认为，4~5级松香呈橙黄色且透明，最适合造纸工业使用；2~3级松香呈浅黄色，透明度也较好，但施胶效能较差；6级以上松香色泽较深，施胶效能较强，但对纸张亮度的影响则较大。用于造纸的松香最好具有160~170毫克KOH的皂化值，不可皂化物含量应不大于9%，挥发物不大于0.5%，而灰分则小于0.05%。

松香一般含有80~90%松脂酸，另外还含有10%左右由酯类和高分子醇类组成的中性物质（从树根提取的松香，又含有高度氧化的其他有机化合物；从塔罗油制得的松香则带有5%左右脂肪酸）。松脂酸的实验式为 $C_{19}H_{29}COOH$ ，是由松香酸、海松酸及其异构体组成。松香酸和海松酸的结构有如下式：



松香不溶于水，但能溶于乙醇、丙酮、醚、三氯甲烷、二硫化碳等有机溶剂，同时又能与碳酸钠、氢氧化钠或氢氧化钾反应，生成松香酸钠或钾。松香易于氧化，并呈深褐色。松香比重约为1.07，在75℃左右开始软化，在90~135℃间熔化。

以纯碱或烧碱与松香熬制松香胶，实际上是一个皂化过程，其反应如下：



理论上，100公斤松香与17.55公斤纯碱或13.25公斤烧碱反应，即可达到完全皂化。实际情况是，松香含有不可皂化物质，纯碱和烧碱也带有杂质，因此，要取得完全皂化作用，必须根据松香的皂化值和纯碱或烧碱的纯度，作必要的调整。完全皂化制成的松香胶呈深褐色，制取含游离松香的酸性胶，则必须酌量减少纯碱或烧碱用量，使部分松香酸不参与反应，而以游离状态存在于胶料中。

熬胶所需碱量可按下列式计算求得：

$$A = \frac{OM_2}{M_1P} (100 - C) \% \quad (2-2-1)$$

式中 A——用碱量(%) (对松香用量)；
 O——松香的皂化值(以%KOH表示)；
 M_1 ——测定皂化值用KOH的当量；
 M_2 ——熬胶用碱的当量；
 C——松香胶的游离松香含量(%)；
 P——熬胶用碱的纯度(%)。

示例：设松香的皂化值为 165 毫克 KOH(即 16.5%)，用纯度为 90% 的纯碱进行皂化，以制取含 20% 游离松香的白色松香胶，所需纯碱量为：

$$A = \frac{16.5 \times 53}{56.1 \times 0.9} \times \left(\frac{100 - 20}{100} \right) \% = 13.8 \%$$

即每一百公斤松香需要加用 13.8 公斤纯碱。

熬胶时，除控制用碱量外，还要根据游离松香含量的要求，很好地掌握用水量。实践证明，要求游离松香含量愈多，用水量愈少。下列为根据不同游离松香含量的要求，应加用清水量的范围：

松香全部皂化，用水量为松香量的 80~120%；

含游离松香在 25% 以下，用水量为松香量的 60~75%；

含游离松香在 40% 以下，用水量为松香量的 30~45%；

游离松香含量达到 45%，用水量为松香量的 30%。

皂化反应属吸热反应，温度愈高，反应愈快。从上述反应式可以看到，以纯碱进行皂化，由于二氧化碳的生成，熬胶锅内会出现大量泡沫，促使锅内液面上升，因此，必须较为严格地控制熬胶温度。然而，事物总是一分为二的。用纯碱熬胶，生成的二氧化碳能起搅拌作用，使松香胶不致凝结成团；采用烧碱，则由于没有二氧化碳产生，因此对温度的控制不那么严格，但必须加强搅拌，否则易于出现聚团现象，严重影响皂化反应。基于上述各点，加以烧碱价格又较高，工厂一般多趋于采用纯碱。

松香块太大，与纯碱反应缓慢。松香块较小，总表面积较多，有利于促进反应速度；但松香块也不能过小，更不能成粉状(冷法松香胶的制备除外)，否则反应过快，反而会使制成的胶料结块成团。实践证明，核桃般大小的松香块较为合适。

熬胶锅的搅拌装置，既起保证胶料均匀度的作用，又能促进反应速度。有些工厂采用 240 转/分左右的搅拌速度，借以缩短熬胶时间。有些工厂则倾向于 140~150 转/分的搅拌速度，既能适当缩短熬胶时间，又较便于控制熬胶操作。

前已述及，使用纯碱熬胶时，要特别注意控制通汽压力，避免由于反应速度过快，锅内液面急剧上升，甚至失去控制，溢出锅外。反应速度过快，又可能使制成的胶料来不及分散，反而结团。

松香和纯碱的加入顺序，也会影响到熬胶质量。先加碱、后加松香的方法，有利于缩短熬胶时间，但制得胶料均匀程度较差，且较易结团，又不易达到全部皂化。先加松香，加热使熔化，再加碱液，可取得较完全作用，制得胶料也较均匀，但操作麻烦，熬制时间也较长。比较好的操作方法是：先加部分纯碱(约为总需要量的三分之二)，加水溶解，再投入松香，然后逐步加入其余三分之一的纯碱溶液。这样做既能适当缩短熬制时间，又能取得反应均匀的效果。

在现场检查胶料质量的方法，除上述采用棒挑观察其落下状态外，还可以用手试其是否粘稠。也可以将一小滴胶料，置于盛有 80℃ 左右热水的玻璃容器中，用玻棒搅拌，视其是否能迅速分散。容器底部不应有残余的相互粘结的胶料；所构成白色乳状溶液(白色胶)，又没有出现云彩状物质。至于松香胶的化合松香和游离松香的组成，则应通过化学分析法，予以确定。

褐色胶通过加水直接稀释后,粒度大多在4~6微米。白色胶通过 $5.89 \sim 6.87 \times 10^5$ 牛顿/米²(6~7 公斤/厘米²)蒸汽喷射乳化,再进一步加水稀释,其粒度一般可达到0.5~2.6微米。实践证明,胶料粒度较小,有利于提高施胶效应,这也是白色胶优于褐色胶的原因之一。

(五) 施胶纸张憎液性能的表现

在纸张表面滴上液滴,即会发现液滴首先是使纤维获得润湿,随而在纸张表面沿四周扩散。这是由于构成纸张的纤维本身是多孔性的,加以纤维与纤维之间又存在着一定空隙,均能起毛细管作用,使液体浸入纸张结构,并在纤维间扩散。这一浸透现象及其浸透速率可由华士贝恩(Washburn)的层流方程式表示如下:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\gamma r \cos \theta}{4 \eta l} \quad (2-2-2)$$

式中 l ——浸透深度(厘米);

t ——浸透时间(秒);

γ ——液体的比表面自由能(即表面张力)(达因/厘米);

η ——液体的粘度(泊);

r ——毛细管半径(厘米);

θ ——液、固两相间接触角(度)。

从上式可见,浸透速率既取决于液体性质(比表面自由能和粘度),又决定于纸张结构(毛细管半径和浸透深度)。毛细管半径和浸透深度跟纸张的多孔性、定量和密度有关。显然,施胶作用只能集中于改变液固间接触角。

液固两相间的接触角的大小,则取决于气、固、液三者比表面自由能的变化,即:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (2-2-3)$$

式中 γ_{sv} ——气、固两相间的比表面自由能;

γ_{sl} ——液、固两相间的比表面自由能;

γ_{lv} ——气、液两相间的比表面自由能;

θ ——液、固两相间接触角。

对纤维、液体和空气(或液体的饱和蒸汽)三相体系来说, γ_{sv} 较大,接触角 θ 接近于零,因此浸透较快,没有憎液性能。为了抑制液体的浸透,可用比表面自由能(γ_{s_1v})较低的固体物质(施胶剂),设法使其均匀分布在纤维表面,降低三相体系中气固间的综合比表面自由能(γ'_{sv}),即使 $\gamma'_{sv} < \gamma_{sv}$,而:

$$\gamma'_{sv} = A_1 \gamma_{s_1v} + A_2 \gamma_{sv}$$

式中 γ'_{sv} ——施胶后,纸张的综合比表面自由能;

A_1 ——施胶后未被胶料沉淀覆盖的纤维表面分数;

A_2 ——施胶后胶料覆盖的纤维表面分数;

γ_{s_1v} ——纤维的比表面自由能;

γ_{sv} ——胶料沉淀的比表面自由能。

由上式可见,胶料在纤维表面分布愈均匀,则暴露于大气的纤维表面愈少,纸张的综合比表面自由能愈小,纸张的憎液性能愈大。

固相比表面自由能的相对值,可通过测定液、固两相间接触角,予以确定。液滴能否在纸张表面构成较大接触角,是取得憎液性能的首要条件。如图 2-2-3 所示,液滴与构成纸张的纤维表面的接触角大于或等于 90° ,即能取得憎液性能;接触角小于 90° ,则纤维易于受液体的润湿和浸透。

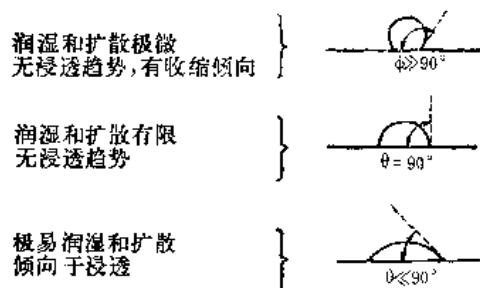


图 2-2-3 接触角与施胶效应的相互关系

在实际生产中,多采用松香为施胶剂,并用矾土为沉淀剂。松香酸与水的接触角只有 $60\sim 70^\circ$,但松香酸铝与水的接触角则达 $90\sim 105^\circ$ 。松香为偶极物质,因此,在生产中,又必须设法通过取向处理,使其非极性组成暴露于外面,而极性组成则处于内向,且与纤维素紧密地连结着。这样,具有非极性组成的纤维表面,方能抗拒极性的水或其他液体,而取得良好并持久的施胶效应。

当胶体溶液(例如墨水)与纸张接触时,则又会同时发生胶体物质(例如墨水中的染料)的凝聚作用,并固着于纤维表面,而少量液体则浸入纸张结构中,使纤维获得润胀,起着抑制浸透的作用。

对要求抗拒非极性有机溶液(例如苯、乙醇、油类、油墨等)的纸张来说,采用松香施胶是有困难的。为此,这一类纸和纸板多用表面施胶。

综合上述情况,可以认为,良好的施胶效应主要取决于:

(1) 选用比表面自由能较低的施胶剂,以取得液滴与纤维间的较大接触角,从而能抗拒液体的润湿和浸透。

(2) 设法使胶料沉淀均匀地分布,并附着于纤维表面。

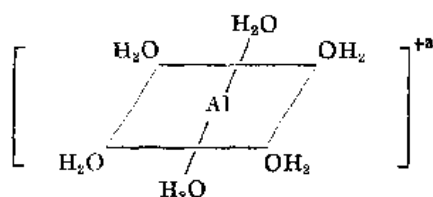
(3) 设法使附着于纤维表面的胶料沉淀,转化为具有稳定的比表面自由能。

一切施胶方法均应达到这些要求,方能取得预期的施胶效应。

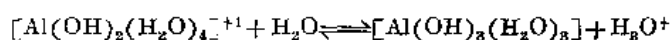
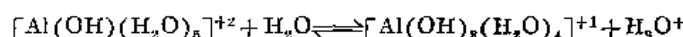
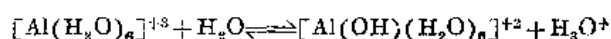
(六) 施胶理论

1. 矾土的水解作用

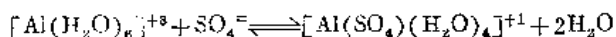
矾土溶液的主要组成是硫酸根(SO_4^{2-})和具有六个水分子的三价水合铝离子 $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$ 。水合铝离子的结构如下式所示:



水合铝离子呈弱酸性,因此又能进一步发生酸性离解:



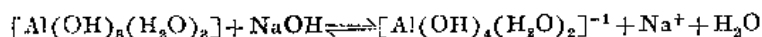
水合铝离子也能与硫酸根反应,在一定程度上抑制水合铝离子的离解作用:



一般认为,当矾土溶液 pII 值 $\leq 4 \sim 5$, 其主要组成为具有六个水分子的水合铝离子;溶液 pII 值的变化则取决于溶液浓度以及水合铝离子的离解程度。由上述反应式可见,随着水合铝离子离解作用的进展,将会出现不同形式的水合铝离子。

在一定的 pII 范围内,矾土随 pH 值的增加转变为碱式盐、氢氧化铝,甚至成为铝酸盐。

如在矾土液中加入碱,使 pH 达到 7.5~8.0,即会出现胶体氢氧化铝沉淀 $[\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$ 。继续加碱,进一步提高 pH 值,则又能溶解氢氧化铝沉淀,生成铝酸盐:



水合铝离子为阳离子,具有与一般阴离子络合的倾向。水合铝离子能与羧基起络合反应,甚至可能与羟基络合,导致一系列的羟联反应。水合铝离子的这一络合性能,在纸张施胶过程中起着重要作用。有关这方面的问题,拟在后面再详加阐述。

2. 松香胶沉淀物的化学组成

运用松香胶和矾土,实现施胶,虽已有 160 多年的历史,但对其施胶机理仍未能得到很好解决。多年来,有关施胶的理论研究主要集中于就松香胶沉淀物的形成及其化学组成、此一沉淀物与纤维的附着以及最终取得施胶效应等三个方面的问题,现进行探讨如下。

有关松香胶沉淀物的形成及其化学组成的研究工作,虽然还不能说已很完善,但大体上已在某些方面取得比较一致的认识。一般认为,根据关于生成沉淀物的离子作用机理,在松香胶中加矾土,三价铝离子跟松香酸离子反应,生成游离松香(松香酸)和水合松香酸铝(主要是二松香酸铝,也可能有少量一松香酸铝)。游离松香和水合松香酸铝均属水不溶性,极易聚团,构成松香胶沉淀物。另外,中性化合松香(松香酸钠)也会跟铝离子反应,而转化为沉淀物。

对松香胶沉淀物的化学分析证明,其主要组成为松香酸铝、游离松香和化合松香。对完全皂化的松香胶来说,在其加矾后生成的沉淀物中,二松香酸铝和游离松香的分子比大致接近于等量(完全皂化的松香胶,其组成主要为松香酸钠,而松香酸钠能部分地发生水解作用,生成游离松香和氢氧化钠)。对含有游离松香的松香胶,其沉淀物带有较多游离松香,二松香酸铝则较少。

如在松香胶乳液中,先加硫酸,后加矾土,则会显著地增加沉淀物中游离松香含量。这是由于硫酸与松香酸钠反应,生成游离松香所致。反之,如有较多阴离子存在着(例如 HCO_3^- 、 OH^- 等),则又会减少沉淀物中的游离松香。同样,钙离子会与松香酸钠反应,生成松香酸钙,加矾土后,铝取代钙而生成松香酸铝,因此,沉淀物中的游离松香也较少。

综合上述情况可见,松香胶沉淀物属非数量关系的化合物,其化学组成很大程度上取决于松香胶的最初组成以及矾土加用量,即取决于松香酸离子和铝离子的比值 ($\text{Ab}^-/\text{Al}^{+++}$),同时又受某些离子(例如 Ca^{++} 、 SO_4^{2-} 、 OH^- 、 HCO_3^- 等)的干扰。

3. 松香胶沉淀物与纤维的附着机理

在水中悬浮的纤维通常带有负电荷。负电荷的形成,可能是由于作为纤维主要组成

的纤维素，表面吸附有外来阴离子，也可能是由于纤维素中羧基或羟基的氢离子离解的结果，或者是由于纤维素表面具有偶极物质(例如水分子)，发生定向效应的结果。确切原因至今还不清楚。

纤维素带负电荷，松香胶也带负电荷。因此，带正电荷的铝离子，起着桥梁作用，使松香胶得以附着于纤维素表面。从这一基本概念出发，人们曾试图对施胶过程作出理论上的解释。早期的科学研究工作曾提出有关施胶问题的“游离松香学说”、“胶体氢氧化铝学说”，“铝离子学说”等等，或因与实际施胶表现有较大出入，或因仅能解释施胶现象的局部问题，已逐渐为近代的“界面动电势学说”和“配位理论”所取代。但是，也还应该指出，有关施胶的理论问题尚有待进一步更深入的探讨。

(1) 界面动电势学说：近代科学研究工作指出，在施胶过程中，带负电荷的松香胶优先吸附铝离子，而呈正电荷，然后再被带负电荷的纤维素所吸附。中性化合松香的悬浮颗粒也会吸附铝离子，然后附着于带负电荷的纤维素上。其结果是，在施胶纸张的纤维表面，分布着大量微细颗粒，导致其憎液性能。在整个吸附过程中，起作用的是水合铝离子，而不是早期研究工作提出的三价铝离子。

上述结论的取得是基于：在一个比较大的 pH 范围内，纤维素表面始终带着负电荷。这一事实可通过测定纸浆的电泳淌度，予以证实。如图 2-2-4 所示，在 pH 3.9~4.3 的范围内，大多数浆种 的电泳淌度保持恒定，且带负值。如在纸浆中增加矾土用量，其表面电荷会较快地接近等电位点，并进而转变为正值（见图 2-2-5）。

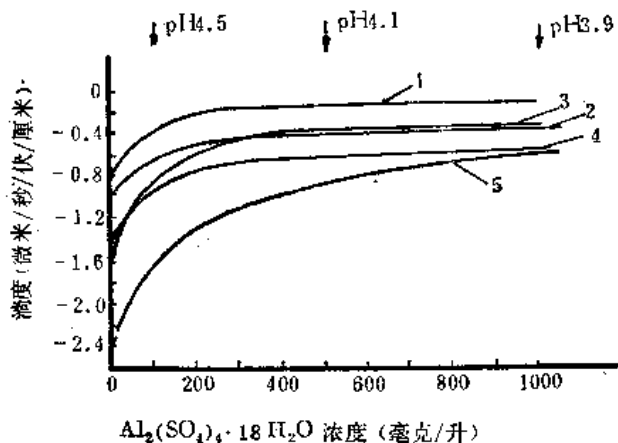


图 2-2-4 纸浆的电泳淌度

1—漂白硫酸盐木浆和棉短绒浆 2—本色硫酸盐木浆
3—漂白亚硫酸盐木浆 4—易漂本色亚硫酸盐木浆
5—本色亚硫酸盐木浆

通过电渗、流动电势、流动电流和电泳等方法，测定表面电荷的大量研究工作指出，对带不同符号电荷的胶体物质来说，其相互作用的速率取决于这些表面电荷的强弱。表面电荷强弱差距较大，必然会加速不同符号的电荷间的相互作用。其结果是较多粗大聚合体的出现。对施胶过程来说，这种现象显然是不可取的。研究工作指出，施胶纸张的表面电荷不宜过强，最好是达到等电点或略带正电荷，以取得最优化施胶效应（见图 2-2-6）。由图可见，最适宜的施胶 pH 值应为 4.6~4.8。

静电作用，固然能驱使带正电荷的松香胶沉淀物和铝离子的混合体，吸附于带负电荷的纤维上，但使松香胶沉淀物固着于纤维表面，最终还是要依靠范德华作用力以及与纸浆中糖尾酸的化学结合。

据此，又可以认为，纸浆中如含有较多糖尾酸，将会有利于施胶效应的提高。各类纸浆施胶的难易，例如 α 纤维素含量较多的纸浆较难施胶，半纤维素含量较多的纸浆较

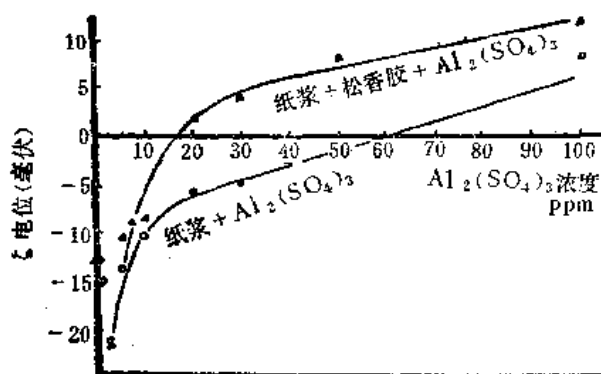


图 2-2-5 ζ 电位与硫酸铝浓度的关系
(浆液 0.107%；松香胶浓度 0.004%)

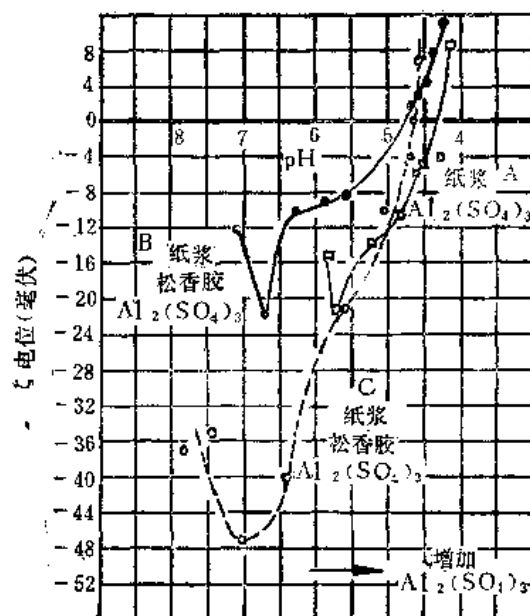
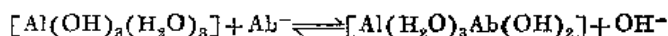
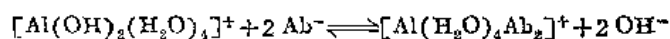


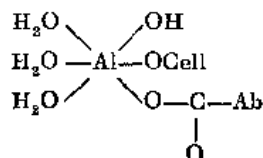
图 2-2-6 pH 与 ζ 电位的关系

易施胶等，均与其糖尾酸含量的多寡有关。

(2) 配位理论：根据配位理论，施胶效应主要是通过水合铝离子，跟松香胶以及纤维素的络合反应而取得。据认为，水合铝离子的羟基能被浓度较大、络合能力又较强的其他阴离子所取代。因此，松香胶中的松香酸离子 (Ab^-) 能与水合铝离子反应，例如：



所生成的松香酸铝又会与纤维素表面的阴离子起络合反应，例如：



同理，如纸浆中含有较多其他具有较强络合能力的阴离子（例如 SO_4^{2-} 、有机酸根等），则又会优先与水合铝离子发生络合，直接影响到施胶效应。

如前所述，当 $pH \leq 4 \sim 5$ 时，矾土的主要水解产物为水合铝离子 $[Al(H_2O)_6]^{+++}$ ，而在实际生产中，最优施胶效应一般是在 $pH 4.7 \sim 5.5$ 取得的。据此，可以认为，配位理论对指导施胶操作，具有一定的现实意义。

由上述情况可见，无论是界面动电势学说，还是配位理论，均认为，在施胶过程中，采用较大的铝离子与松香胶的比值，维持 pH 值在 5 左右，尽可能排除其他阴离子杂质的干扰，会有利于络合反应，有利于使施胶纸张表面动电势接近等电位点，从而保证取得预期的施胶效应。

4. 施胶效应的最后完成阶段

松香胶沉淀物吸附于纤维表面，或与纤维通过配位键而络合，仅仅是取得施胶效应的一个必要的历程。加有施胶剂和沉淀剂的纸浆，经过成形抄成纸张，再通过干燥处理，方能取得较低且稳定的表面自由能，取得预期的施胶效应。

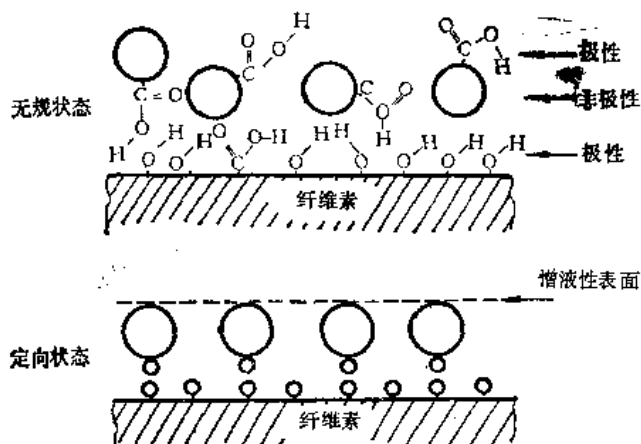
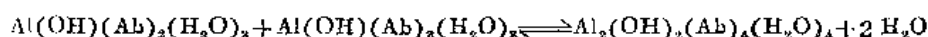


图 2-2-7 偶极分子取向示意图

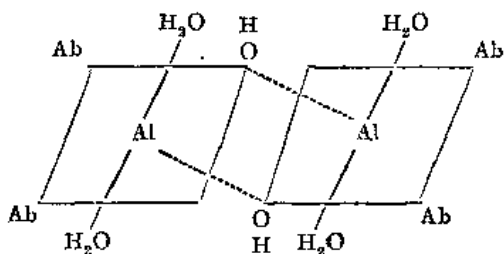
松香胶属极性物质。在纸张干燥过程中，处于纤维表面的松香胶沉淀物的极性羧基部分，可能发生内取向，从而使其非极性部分向外，表面自由能得到下降(见图2-2-7)。这种内取向是不稳定的，加入极性较强的水溶液，即能使其逆转。但是，由于松香胶沉淀物中带有铝离子，有助于使极性部分更好地固着于纤维素结构上，从而防止或阻滞其内取向的逆转。这样，就可以使纸张保持较低而且又较稳定的表面

自由能，确保其憎液性能。

配位理论又进一步认为，水合铝离子能起羟联反应而联结在一起，构成多种聚合体，因此，在纸张干燥过程中，松香胶沉淀物发生羟联反应，失去其配位键的水分子，而联结在一起。例如：



所生成聚合物的结构有如下式所示：



如前所述，松香酸铝又会与纤维素的羧基构成配位键。这类化合物同样也会在干燥过程中起羟联作用，从而使松香胶沉淀物获得较稳定的内取向。

由此可见，适量氢氧化铝的存在会有利于络合反应和羟联作用，有利于使固着于纤维表面的松香胶沉淀物得到较稳定的内取向，从而使纤维表面自由能较低，憎液性能较强。

(七) 影响施胶的因素

纸张能否取得预期施胶效应，主要取决于液滴在纸张表面构成的接触角，且又与纸张结构有关。现仅就实际生产操作中对这两个方面有所影响的一些问题，分别阐述如下：

1. pH 值

如前所述，施胶效应的取得与水合铝离子有着密切关系，而从矾土的溶解和水解情

况来看, pH 在 4~5 时, 主要产物为 $[Al(H_2O)_6]^{+3}$ 。电泳滴度的测定又指出, pH 值较低, 能使松香胶沉淀物较易取得正电荷, 有利于提高施胶效应。

在实际生产中, 加矾后的 pH 值多在 4.5~5.0 之间。一般操作又多倾向于控制造纸机上网浆料或网下白水 pH 在 4.7~5.5 之间, 以取得最大施胶效果。这一 pH 值的控制是符合理论要求的。当然, pH 值的控制还要根据纸浆性质、生产用水硬度和白水回用的情况, 稍作调整; 为此, 控制比理论值稍高或稍低的 pH 值, 是可以理解的。不过, 也应该指出, pH 值过小, 不但会在抄纸过程中导致大量泡沫的生成, 而且还会影响到纸张强度的下降, 并对造纸机部件起腐蚀作用。对这个方面, 也要给以应有的注意。

2. 阳离子

某些阳离子(特别是碱土金属离子)的存在, 会对施胶效应有所影响。首先是钙离子问题, 如果浆料体系中带有过多钙离子, 施胶效果将会下降。这是由于钙离子能与松香酸构成不可溶性的松香酸钙, 严重地妨碍松香酸与水合铝离子的结合。

经次氯酸钙漂液处理的漂白浆, 如洗涤不够充分, 会给施胶带来一定困难。因此, 必须重视漂后的洗涤操作。钙离子主要来自生产用水。生产用水硬度较大, 不但 pH 值较高, 而且往往带有较多钙离子, 对施胶极其不利。在这种情况下, 可在加胶前, 加矾土或硫酸, 调节 pH 至 5 左右, 然后再按正常操作, 加胶加矾。加硫酸要比加矾土效果好些。

实践证明, 少量钙离子不但不会对施胶有不良影响, 甚至反而比完全没有钙离子时, 能取得较好的施胶效果。其原因还不清楚。据认为氯化钙和氢氧化钙不会影响施胶; 碳酸钙、碳酸氢钙和大量的硫酸钙则不利于施胶。

以碳酸钙作为填料的纸张, 多采用石蜡松香胶代替普通松香胶, 以取得预期施胶度。在常用填料中, 碳酸钙和瓷土都会影响施胶效果; 硫酸钙和滑石粉用量较少时, 不会影响施胶, 用量较多, 则会有影响。二氧化钛则对施胶没有任何影响。

3. 阴离子

如前所述, 络合能力大于松香胶或纤维素的阴离子的存在, 会妨碍施胶操作。试验研究工作指出, 下列阴离子均具有与水合铝离子络合的能力, 其络合能力从弱到强的顺序为: 硝酸根、氯离子、硫酸根、醋酸根、酒石酸根、柠檬酸根、草酸根、羟基。羧基也能与水合铝离子起络合反应, 其络合能力也较强。

在抄纸过程中, 白水的循环利用会导致硫酸根($SO_4^{=}$)的积累; 硫酸根过多, 会影响到松香酸与水合铝离子的络合, 降低松香胶沉淀物的表面电荷。通常, 加少量氢氧化钠稀溶液, 即能改变这种现象。

4. 施胶温度

夏季水温较高, 生产用水中易于滋长微生物, 生产用水有机酸含量显著增多。有机酸的阴离子可能优先与水合铝离子发生络合, 影响施胶效果。更主要的是, 水温较高, 会促进松香胶颗粒的凝聚, 不利于施胶操作。实践证明, 施胶温度最好不超过 35°C。

打浆时间较长, 采用白水封闭循环系统, 也会使浆料温度上升, 导致施胶效果的下降。

施胶温度较高, 又有可能在造纸机上出现粘辊, 严重时还会导致纸幅“断头”。应该

指出,熬胶和乳化操作控制不当,也会导致松香胶颗粒凝聚,同样也会给抄纸过程带来粘辊、断头等麻烦。

有些工厂在夏季施胶时,加少量干酪素或其他胶体保护剂,能在一定程度上克服施胶困难。

5. 松香胶颗粒在纸面的分布

近代电子显微镜观察证实,松香胶并不是通过覆盖纸张整个表面,而是以微小颗粒分布并附着于纤维表面,取得施胶效应。

松香胶颗粒微小,有利于加在纸浆中的松香胶更好地分布在纸面各处;众多粒度微小的松香胶又拥有较大的总表面面积,因而能取得较好的施胶效果。反之,同等数量松香胶,如粒度较大,在纸面上分布的范围会小些,总表面面积也少些,施胶效果显然差些,在这种情况下,要取得较好施胶度,必须增加用胶量。在通常的施胶量范围内(2~4%松香胶),上述论点基本上得到证实。

白色松香胶粒度要比褐色松香胶的小得多,因此,白色胶的施胶效果较好。强化松香胶优于白色松香胶,除了因为强化松香胶拥有较多羧基基团外,另一主要原因是,在纸面上聚集后的强化松香胶粒度只有150~300埃,而白色胶粒度则达500~2600埃。

细小纤维表面面积较大,表面电荷较高,易于吸附松香胶沉淀物;但是,细小纤维却又易于在抄纸过程中随同白水流失。如加助留剂,可使这些细小纤维更好地附着在长纤维上,增加松香胶的分布,从而提高施胶效应。

加有阳离子型湿强度树脂的纸浆,往往较易施胶,可能与松香胶的留着有关。某些阴离子型湿强度树脂(例如丙烯酸酰胺共聚物),也能起提高施胶度的作用;但采用这类阴离子型共聚物时,必须增加矾土用量。

6. 胶体保护剂的应用

在松香胶中加用胶体保护剂,有助于防止松香胶的凝聚,使之能更好地分布于纸面。常见的胶体保护剂有干酪素、动物胶、淀粉、羧甲基纤维素等。

干酪素是由盐酸、醋酸或其他酸处理牛奶制得,为无色、白色或黄色至褐色的块状物质。在高游离松香胶制备过程中,以干酪素作为乳化剂,可保证其70%游离松香含量趋于稳定。在使用白色松香胶时,也可以在熬制过程,加用干酪素,或在施胶过程中,加干酪素。使用时,可先将干酪素溶解于氢氧化钠溶液或3%硼酸,干酪素用量一般不超过2%(对松香量)。

动物胶是由动物的皮、角、蹄、骨等在水中熬制而得,呈浅褐色。动物胶在冷水中能缓慢地发生润胀,在熬松香胶时可作为乳化剂使用,也可以直接在施胶过程中使用。

淀粉,特别是氧化淀粉,也能作为胶体保护剂使用。但是,淀粉属粮食产品,干酪素和动物胶价格均较高,应尽可能避免使用。近年来,又有采用羧甲基纤维素(即CMC)作为胶体保护剂的趋势;羧甲基纤维素既能有助于提高施胶效应,又能增加纸张的干湿强度。

在纸浆中加入少量水玻璃,可以提高纸张的挺度和平滑度,并能在一定程度上增强施胶效果。水玻璃是氧化钠和二氧化硅以1:3或1:4组成的硅酸钠,呈碱性。水玻璃用量不宜超过1~2%(对松香量),否则反而会降低施胶效果,并使纸张发脆并呈现透

明。

7. 打浆操作和施胶程序

提高打浆度，增加纤维的润胀，既可改进纸的匀度，又有利于降低液体的浸透速率。但是，与此同时，又会增加纤维微层间液体的扩散。另外，打浆又能使纤维具有更大的表面积，使之能有更多机会与松香胶沉淀物结合。因此，提高打浆度，有利于施胶度的提高。

但是，设法使松香胶在纸浆中获得充分分散，却有很重要意义。因此，浆料浓度和施胶顺序的选定均应要求能保证松香胶的均匀分散。

一般认为，4~6%浆浓既符合打浆操作的需要，又能使松香胶获得较好分散。如前所述，一般施胶顺序为加胶、加矾和加填。最后加填，是为了避免填料干扰松香胶沉淀物的形成。先加胶后加矾，则为使松香胶有足够时间与纸浆混合。在一个比较长的时期内，曾认为，加胶后10~20分钟，方可加矾；近年来，则有将这一间隔时间缩短至3~5分钟以下的趋势。加胶加矾后的浆料，通常均在贮浆池内存放15~20分钟以上，再送造纸机系统抄成纸张。应该指出，加胶加矾后的浆料不宜静置过久，否则有可能失去其施胶效能。在实际生产中，有时由于停机检修时间过长（例如，超过16~24小时），没有开动贮浆池搅拌器，可能会发现浆料失去施胶作用。重新开车后，略加矾土，又可在一定程度上恢复其施胶效能。

8. 抄纸操作

采用粘状浆，适当回用白水，可以提高填料、细小纤维和胶料在纸张中的留着率，从而在一定程度上增加施胶效应。纸张定量较大，密度较高，厚度较大，均有利于提高施胶效应。

造纸机网部和压榨部操作不当，有可能影响到纸张的施胶。紧贴铜网和吸水箱的纸面中的松香胶，有一部分可能随同白水流失，其结果是纸张网面（或称反面）施胶度不如毛毯面（或称正面），这就是施胶的两面性。压榨辊间全面压力不均匀，可能导致纸张全幅施胶度不均匀。纸张两面受压差别较大，也有可能导致施胶两面性。

在整个抄纸中，干燥过程对取得施胶效应最为重要。如前所述，在干燥过程中，松香胶沉淀物通过羟联反应，与纤维素紧密地联结在一起，其极性组分获得内取向，从而使纤维表面自由能下降，取得预期的施胶效果。但是，也必须注意到，干燥温度也不能太高，否则又会导致羟联聚合物中羟基失去其氢原子，转化为氧联聚合物，部分尚未与松香胶结合的水合铝离子可能因此失去其表面电荷，不再起作用。一般认为，完成施胶任务的最适宜干燥温度在100℃以下。要注意控制干燥部温度曲线，务使在纸张水分含量达到40~50%以前，干燥温度不超过70~90℃。骤然提高干燥温度，可能会出现纸的水蒸汽分压超过水分的蒸发速率，以致破坏松香胶与纤维之间的附着；严重时，还会使松香胶从纸贴烘缸的一面转移到另一面，造成施胶两面性。采用大直径单烘缸的造纸机，干燥温度较高，在生产施胶纸时，有时会出现这种情况。应该指出，松香胶沉淀物，如已在较低温度时取得羟联反应，再使在较高温度下继续得到干燥，不但不会影响施胶效应，反而又会巩固甚至提高原已取得的施胶度。

据认为，干燥温度又与松香胶沉淀物的熔结有关。不同的科学研究工作者，曾就松

香胶沉淀物的熔结温度进行测定, 所得结果虽然仍存在若较大分歧, 但总的趋势是: 松香胶沉淀物中游离松香含量愈多, 熔结温度愈低。松香胶沉淀物一旦达到其熔结温度, 即能在纸面上流淌, 有助于在纸面上的分布。白色松香胶熔结温度较低, 褐色松香胶和强化松香胶的熔结温度则均较高。单独使用强化松香胶, 不如与白色松香胶混用, 可能与熔结温度有关。在大直径单烘缸造纸机上抄制纸时, 如果纸浆是采用褐色松香胶进行施胶, 或者是采用由 25% 强化松香胶和 75% 白色松香胶组成的混合胶料进行施胶, 都可以在一定程度上克服施胶两面性的缺陷, 可能是由于提高松香胶沉淀物的熔结温度而取得的。

一般来说, 压光对施胶效应有不良影响, 其原因尚未搞清楚。生产实践证明, 压光时加压较大, 或压光时纸的水分含量较高, 均不利于施胶度的稳定。这又与保证压光质量有矛盾。必须在确保压光质量的前提下, 尽可能使施胶效果受到最小影响。

9. 纸张的耐久性能

以松香胶在 pH 4~5 下进行施胶, 一般都会降低纸张的白度和物理性能。经松香胶施胶的纸张又缺乏耐久性能, 受阳光照射, 易于变色, 存放日久也会变色。一般认为, 施胶 pH 值小于 5, 易于导致纸张的变色。

为了提高松香胶施胶纸的耐久性能, 可在施胶过程中加矾之后, 加入少量氢氧化钠或氢氧化钙, 调节 pH 值至 5 左右。也可以加入铝酸钠代替部分矾土。加用铝酸钠, 不但能在较高 pH 下取得预期施胶度, 又能减少泡沫, 改进纸的匀度, 增加填料留着率。最好是在造纸机流浆箱或前面的混合箱(或混合泵)处, 加入铝酸钠。

在生产实际中, 偶然又会遇到纸张的“假施胶”。“假施胶”是指纸张搁置一定时日后(例如放置一昼夜或三数日, 甚至更长些), 失去其施胶度的现象。如前所述, 采用冷法松香胶进行施胶, 比较容易出现“假施胶”。另外, 本色浆的施胶, 即使采用白色松香胶, 也较易发生“假施胶”。“假施胶”的根本原因至今尚未弄清, 可能是由于松香胶沉淀物的内取向不够稳定; 也可能是由于存在着某些能缓慢地促使松香胶沉淀物中羧基逆转为外取向的物质, 还有待科学研究工作的进一步探讨。

(八) 其他施胶剂

1. 石蜡胶和石蜡松香胶

造纸工业用的石蜡主要来自炼油工业。用于施胶的石蜡属经过精制的石油副产品, 包括中间蜡(例如, 鳞状蜡、疏松石蜡等)、精制石蜡和微晶石蜡三类。由于微晶石蜡胶的憎液性能并不很强, 但对提高纸张表面的光滑度和耐擦性能极其有效, 为此, 多用于表面施胶。内部施胶则多选用正链石蜡胶。据此, 本节述及的石蜡胶均指正链石蜡乳化液。

制备石蜡胶的方法大致可分为三大类型: 其一, 以亲水性天然胶(例如阿拉伯树胶)为乳化剂处理石蜡, 制得具有抗酸抗碱性能的抗酸型乳液; 另一则以硬脂酸和氢氧化钠(或氢氧化钾或三乙醇胺)作为乳化剂, 制得能为矾土沉淀的阴离子型乳液; 再一是以阳离子化合物(例如, 阳离子型淀粉)作为乳化剂, 制得具有一定抗酸性能, 而又能直接与纤维结合的阳离子型乳液。无论是那一类型石蜡胶, 其制备过程大体上均可分为三个步骤。首先是将石蜡加热至熔化, 然后将其倒入到含有乳化剂和分散剂(例如木素磺酸钠)

的水溶液中(事先加热水溶液,使其温度比石蜡熔点高出 $10\sim 20^{\circ}$),并加以剧烈搅拌,令其初步构成乳液。再将其移置至压力乳化器或胶体磨中处理,制得均匀而且稳定的石蜡胶。最后,令其通过热交换器获得迅速冷却。在制备过程中,必要时,可加用少量脲醛树脂或蜜胺甲醛树脂,作为防腐剂。

石蜡胶可以单独使用进行内部施胶。但更多的是与松香胶配合应用。内部施胶多选用抗酸型石蜡胶。只有在以石蜡胶单独进行施胶或其他特殊情况下,方选用阴离子型石蜡胶;在加阴离子石蜡胶后,还要加矾土。运用阳离子型石蜡胶,虽可不必加用矾土,但这类石蜡胶价格较高,仅在某些特殊场合下使用。

石蜡胶的施胶操作,基本上与松香胶相同。如与松香胶配合使用,应在加松香胶后,再加石蜡胶,然后加矾土。石蜡胶用量一般为 $0.2\sim 0.5\%$,即可取代 $20\sim 40\%$ 的松香胶,而又能取得更好的憎液效应。

使用石蜡胶时,必须注意保持其良好的分散状态,避免由于浆泵叶轮或其他工艺设备的切变作用,导致部分石蜡游离出来,否则将会在造纸机的操作中,出现粘网、粘辊、粘毛毯等问题。施胶时,必须将纸浆浓度稀释至 5% 以下,并注意控制施胶温度。施胶pH一般在 $6\sim 6.5$ 之间。

石蜡胶既能赋予纸张以较高憎液性能(包括憎水、抗墨水、抗血、抗乙醇、抗乳液等),同时又能提高纸张的柔软性、弹性和光泽度,但纸张的物理强度和挺度则会略受影响。石蜡胶常见用于石棉纸、肉食包装纸、电缆包装纸、纸杯纸、标签纸、标语纸、食品包装纸板等。

除在施胶过程混合使用石蜡胶和松香胶外,还有在熬制松香胶的过程中,加用 $10\sim 20\%$ 石蜡(对松香量),制成石蜡松香胶的。可以在纯碱溶液中,先行加入石蜡,俟其充分熔化后,再加松香;也可以首先对松香和石蜡加热至熔化,再加烧碱或纯碱溶液。石蜡松香胶的熬制和乳化操作,可参照白色松香胶或高游离松香胶的制备方法执行。石蜡松香胶常见用于碳酸钙加填的纸张以及其他场合。实践证明,无论是采用石蜡松香胶,还是在纸浆中分别加用松香胶和石蜡胶,均能取得较好施胶效应,而且还能在很大程度上防止“假施胶”现象的出现。不过,也应该指出,石蜡松香胶的施胶效果,远远赶不上在纸浆中分别加用松香胶和石蜡胶。

除石蜡外,还可采用山蜡或其他蜡类物质作为原料。山蜡是从褐煤提取而得的褐煤蜡,呈浅褐色至黑色,因此仅限用于本色浆的施胶。山蜡胶的一个优点是,能在pH值高达 $7\sim 7.5$ 下,取得良好施胶效果,因此,极适用于带有碱性填料的纸浆。

2. 硬脂酸钠

硬脂酸钠(或钾)多用于照相原纸的施胶,也见用于石棉纸、模压纸制品以及其他场合。其施胶作用与松香胶近似,但其化学反应性能极不活泼是它的特点。

硬脂酸钠(或钾)溶解度较低,使用时,必须加热至 $88\sim 93^{\circ}\text{C}$ 。施胶时,硬脂酸盐溶液的温度不应小于 66°C ,浆料温度则应在 32°C 左右。硬脂酸钠用量一般为 3% (对风干浆量),矾土量约 4% ,加矾后pH值 $4.5\sim 5.0$ 。

3. 高游离松香胶

高游离松香胶指含 $70\sim 90\%$ 游离松香的胶料,其主要特点是粒度微小(一般为

0.1~1.0 微米,最大 5 微米),施胶效应较强。

制备高游离松香胶,必须加用干酪素或其他胶体保护剂,以保持其稳定。制备时先使松香熔化,加碱加水,待部分皂化后,缓慢地加干酪素溶液和稀释水,获得“水包油”型乳液。整个制备过程是在高速搅拌下进行,搅拌器转速达 1400~1500 转/分(也有采用双搅拌器设施,在 200~300 转/分低速搅拌下制备高游离松香胶的)。搅拌目的是使物料获得充分混合,而又不受过多的剪切作用。最后,加冷水稀释至 300~500 克/升浓度备用,必要时,可加用防腐剂。

下列为制备 80% 游离松香胶的配方示例,可供参考:

松香	200 公斤
纯碱	3.4 公斤
皂化用水	150 升
干酪素	11 公斤
氢氧化钠	1.1 公斤(溶解干酪素用)
水	35 升(溶解干酪素用)

高游离松香胶不受施胶温度和生产用水硬度的影响,施胶 pH 值的控制也不太严格,是其主要优点。高游离松香胶适用于难施胶的浆种,又可用于干燥温度较高的场合(例如大直径单烘缸造纸机)。高游离松香胶曾一度比较广泛地在这些场合获得应用,但近年来已有被强化松香胶和合成胶取代的趋势。

4. 沥青胶

可以由沥青和瓷土混合,配制成供施胶用的沥青乳胶。将沥青置于设有搅拌器的蒸锅内,通过间接加热,在 10~14 小时内将锅内沥青温度提升至 110~120℃,或稍高一些,视沥青熔点而定。在另一同类型蒸锅内,倒入瓷土,加水稀释至 40~45% 浓度,通过间接加热和机械搅拌,维持瓷土悬浮液的温度在 80~90℃ 左右。将瓷土悬浮液和沥青熔化物按规定配比,分别引进乳化混合泵。通常,可选用 70/30 的瓷土和沥青的配比。乳化泵是由两块转盘构成,盘间保持 10 毫米左右间隙,瓷土和沥青同时从乳化泵中央开孔进入到转盘间,受转盘 3000~4000 转/分的高速迴转作用,再从乳化泵底部流出,经过平板振动筛,除去大块颗粒。合格的沥青乳液通过振动筛,流入贮存槽备用。乳化混合时,可稍为通入蒸汽,借以加强搅拌作用;也可以加用 40~45% 浓度的氢氧化钠溶液(用量约为沥青量的 4%),或加用 30% 土耳其油和少量碳酸钠,作为辅助乳化剂。沥青乳胶最好是与松香胶配合使用,一般是先行在浆料中加入松香胶,再加矾土,最后加沥青乳胶。应事先加热水稀释沥青乳胶,再加冷水稀释至施胶操作要求的程度。

也可以采用松香酸钠为乳化剂,在高温高压下处理沥青,并不断地加以高速搅拌,直至沥青获得充分分散,再通过压力均化器,制得粒度为 1~5 微米的沥青松香胶,直接供施胶用。

沥青胶主要用于防水纸板(例如用于制成汽车顶盖内衬等)、建筑纸板、箱纸板、防潮衬纸等。用量一般为 5~10%(对浆量),也有多达 20~35% 的。

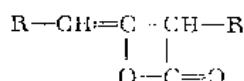
5. 合成胶料

大多数施胶剂都会对纸张物理强度和色泽有所影响，而合成胶料则例外。合成胶料能与纤维素直接构成化学键结合，能抗酸抗碱。使用合成胶料时，施胶 pH 值可高至 6~8。因此，施胶时，有加少量矾土的，也有不加矾土的，视合成胶料性质而定。

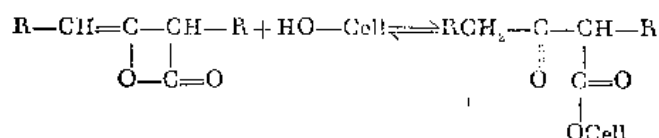
合成胶料特别适用于要求具有某些特殊憎液性能的纸种(例如抗油纸板)，也适用于要求具有良好耐久性能的纸种(例如档案文件用纸、钞票纸、地图纸等)。

已在生产中获得使用的合成胶料主要有：乙烯酮二聚物、碳氟化合物、硬脂酸和氯化铬的共聚物、异氰酸盐、阳离子型丙烯酸酯等，其中只有乙烯酮二聚物以及碳氟化合物用于内部施胶，其他几种多用于表面施胶。

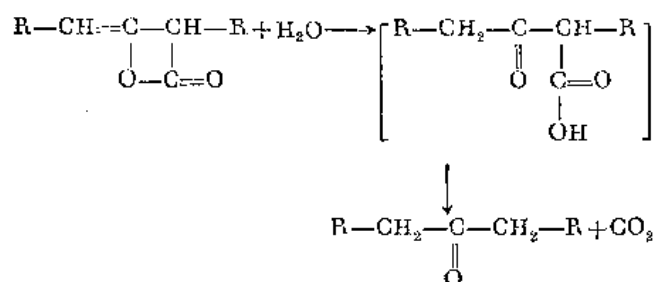
乙烯酮二聚物具有下列结构式：



其内酯环(—C—O—C—)能发生裂断，而与纤维素的羟基结合，构成 β 酮酯，取得施胶效应：



但又能与水反应，生成不稳定性的 β 酮酸，并随之转化为酮化合物：



提高温度，增大 pH 值，均能促进上述两个不同反应。据此，作为施胶剂用的乙烯酮二聚物，必须能在浆料悬浮液中保持其稳定状态，直至去除纸张水分后，在较高温度的作用下，能够选择性地与纤维素发生化学结合。试验研究工作指出，烷基乙烯酮二聚物能满足这一要求，并已在生产实践中得到验证。

烷基乙烯酮二聚物不溶解于水，通常是在 2.5~4.5% 淀粉溶液中于 63~68℃ 下，制成由 3~12% 二聚物和 1~3% 淀粉组成的乳液，再调节 pH 值至 3.5~4.0，使取得稳定状态。也可以采用非离子型表面活性剂作为乳化剂，制得稳定的二聚物乳液。

施胶时，不能加矾，但最好能加阳离子型助留剂。施胶 pH 值应在 7~8 左右，必要时，可加用碳酸氢钠调节 pH 值。在干燥过程中，尽可能比较快地使纸幅水分获得蒸发，以利二聚物与纤维素选择性反应的进行。从造纸机上卸下的纸卷，往往需要 24 小时以上方能取得最大施胶效果，说明在纸卷存放和整理过程中，二聚物和纤维素仍然在不断地起着反应。二聚物用量仅需 0.05% (对浆量)，助留剂用量则为 0.05~2.2%。适用于干湿强度剂的助留剂，大多可用于二聚物(有关助留剂的选用，详见本章第四节)。

碳氟化合物为阴离子型直链碳氟有机化合物，施胶量一般为 0.2~0.5%。施胶时，必须加入阳离子型助留剂，用量约为 0.2~1.0%。施胶 pH 小于 7，主要决定于助留剂的性质。不能加矾，可加醋酸调节 pH 值。碳氟化合物主要用于要求具有抗油性能的纸种。

三、表面施胶

(一) 表面施胶的作用及其实施

表面施胶是指在经过内部施胶或未经内部施胶的纸面，涂上匀整的薄层胶料，取得憎液性能。一般多用以提高纸张的抗油性能，例如抗拒印刷油墨，以改进纸张的印刷性能；或者用以提高纸张抗拒胶体溶液的浸透，例如，抗拒书写墨水的浸透，从而改进纸张的书写性能。常用的表面施胶剂又大多能同时改进纸张的物理强度、挺度、耐擦性能、耐久性能、手感性以及纸面的平滑度。另外，表面施胶又能有效地克服纸面起毛、掉粉等缺陷。

用于表面施胶的施胶剂主要有动物胶、淀粉、石蜡胶、甲基纤维素、羧甲基纤维素、聚乙烯醇、合成树脂、合成胶料等。

表面施胶的方法大体上可分为槽法施胶、辊法施胶、压光施胶、烘缸施胶等。除槽法施胶既可用于机外施胶和机内施胶外，其他几种方法均属机内施胶范畴。

表面施胶多用于高质量纸种，例如钞票纸、证券纸、扑克纸、绘图纸、账簿纸、高级书写纸、高级胶版印刷纸等。也用于对抗油、抗碱要求较高的包装用纸和纸板，例如肥皂包装纸、肉食包装纸等。为解决填料含量较多的纸张易于掉粉，解决以苇浆抄成的纸张易于掉毛等问题，也可以采用表面施胶，在这种情况下，主要是利用施胶剂，将填料颗粒或由细小纤维构成的纸毛更好地粘附在纸面上，防止其脱落，同时又取得施胶效应。

(二) 表面施胶常用施胶剂

1. 动物胶

表面施胶常用的动物胶为白明胶（包括鱼胶、骨胶、皮胶，其中以无色、无嗅、几乎透明的鱼胶质量最好）。使用动物胶时，先令其在冷水中获得充分润胀，再置于 50~60℃ 左右的热水中溶解，制成 4~10% 浓度的胶料。如有必要，可在溶解过程中，加用少量碱，以增加其溶解程度。又可加 2~10% 矾土，借以提高胶料粘度。还可加用少量硫酸锌、水杨酸或蚁醛作为防腐剂。

经动物胶处理后的纸张，如再通过矾土液或甲醛溶液浸渍，又可提高纸张（例如晒图原纸）的憎液性能。

在动物胶中加 2~3% 肥皂（对动物胶用量），可以提高纸张的色泽、不透明度和光泽度。加用少量氯化钙、甘油、不干性油、醋酸钠等，则又能改进纸张的耐揉性。

由于价格较高昂，动物胶多限于高级纸种的应用，且多与淀粉混合使用。混合使用时，应加 0.25~1.0% 肥皂（对动物胶用量），借以防止动物胶和淀粉的离散。

动物胶主要用于槽法施胶。如用于机内施胶，则应特别注意干燥速度不宜过快，否则由于纸张发生收缩，在纸面上会出现龟裂。

2. 淀粉

转化淀粉是获得较广泛应用的表面施胶剂，其中以氧化淀粉和淀粉的乙酰化衍生物的施胶效果最好，酵素转化淀粉则由于价格较低，获得较多使用。使用时的淀粉浓度取决于其本身粘度。一般认为，高粘度淀粉浓度应为4~10% (0.5~3.0°Bé)；低粘度的为4~18% (1~8°Bé)。使用前，应将变性淀粉置于水中，加热至88~100℃，历时10~20分钟，并调节至上述浓度。施胶温度一般维持在50~66℃。施胶后，纸张的淀粉含量约为1.5~3.5%。

可以单独用转化淀粉作为表面施胶剂，也可以与动物胶混合使用。还可以与25~35% 瓷土配合使用，或与15% 丁二烯、苯乙烯共聚物和60~70% 瓷土混合使用。

以转化淀粉进行表面施胶，又能同时改进纸张的耐破度、抗张强度和耐折度，但撕裂度则略为下降。

3. 聚乙烯醇

聚乙烯醇能使纸张获得较强的抗油性能。如与脲醛树脂或铬化合物（例如醋酸铬、重铬酸铜或钠）配用，又能提高憎水性能。聚乙烯醇不溶于冷水，但可溶于60~85℃热水，制成1~3% 溶液，供表面施胶用。

以聚乙烯醇进行表面施胶，最好事先使纸张通过硼砂溶液处理，这样做可以保证聚乙烯醇很快地在纸面凝结，而不会浸入纸的内部。

单独使用时，能在纸面构成高度透明而且柔软、抗张强度又较大的抗油薄膜。如与20% 左右淀粉混用，更能进一步提高其成膜性能。也可以采用两次施胶的办法，例如先淀粉后聚乙烯醇，或先聚乙烯醇后聚乙烯醇和淀粉混合胶，取得更好的施胶效应。

4. 甲基纤维素和羧甲基纤维素

用甲基纤维素或羧甲基纤维素作为表面施胶剂，能取得良好抗油性能，但憎水性能则较差。加用脲醛树脂，能增强其憎水性能。甲基纤维素和羧甲基纤维素均可溶于60~70℃热水，使用浓度一般为1~4%。使用甲基纤维素时，如能加用甘油、转化糖或山梨糖醇，又会有利于改进纸张的柔软性。

可单独使用，也可以与淀粉、动物胶或干酪素混合使用，以取得抗水、抗油、抗脂性能。常见用于蜡纸和复写纸的施胶。

5. 石蜡胶

表面施胶多采用抗酸型石蜡乳液，可用于槽法施胶，也可用于机内施胶。可单独使用，也可以与淀粉混合使用。

采用石蜡进行表面施胶，可改进纸张外观，能克服纸面起毛的缺陷，并能提高纸张的憎水性能。石蜡表面施胶常用于肉食包装纸、面包包装纸、纸杯纸、箱纸板等。处理纸板时，又多采用压光施胶。

单独使用石蜡进行表面施胶，可能会有较多石蜡浸入纸或纸板，不符合使石蜡分布在纸面的表面施胶要求。如与淀粉混合使用，能克服这一缺陷，取得良好的施胶效果。纸面的涂蜡量不能过多，否则由于石蜡具有润滑性能，会给卷纸操作带来一些困难。

6. 其他表面施胶剂

除上述表面施胶剂外，还可采用藻朊酸钠（即脱水 β -D-甘露糖醛酸高分子化合物

的聚合物)、合成树脂(例如,三聚氰胺甲醛、苯乙烯共聚体树脂等)以及合成胶料(例如,苯乙烯和氯化铬的共聚体、硅酮树脂、铬氟螯合物、阳离子型丙烯酸酯、乙烯酮二聚物等),对纸进行表面施胶。可以单独使用这些胶料,也可以与淀粉或动物胶配合使用,使纸在取得抗油性能的同时,提高其湿耐擦性能和湿强度。

(三) 施胶方法

1. 槽法施胶

槽法施胶原多用于机外施胶,但也可用于机内施胶。机外施胶是指在造纸机上抄成纸后,将纸卷卸下,另外转到一套施胶装置,进一步予以加工处理,取得憎液性能。机内施胶是指将施胶装置安设在造纸机上,作为造纸机的组成部分,使在抄纸过程中取得表面施胶处理。

在机外槽法施胶中,通常将含有 10~15% 水分的纸幅引进 2~4 米长的施胶槽内,槽内设有若干根压纸辊,使纸幅浸在施胶剂溶液中,然后再经压榨和干燥,制得所需施胶纸。施胶时,保持胶料溶液在 50~60℃。施胶槽可以用木制内衬铜板或锌板;压榨装置则由铜辊和包胶辊组成。施胶后,最好将浸胶纸卷搁置 1 小时以上,再通过 30~35℃ 热风使纸幅得到缓慢干燥,这样可以保证纸面胶料不致发生龟裂。

机内槽法施胶是指将施胶槽(连同压榨装置)安设在造纸机干燥部的施胶方法。经施胶后的纸幅进入最后一组烘缸,获得干燥。为此,应特别注意到烘缸温度的控制。

槽法施胶近年来已逐渐为辊式施胶所取代,目前多限于某些特殊要求的高级纸种采用。

2. 辊式施胶

图 2-2-8 所示为常见的辊式施胶装置示意图。纸幅沿与垂直中心线成 60° 角度进入并离开施胶装置。施胶装置由上辊(铜辊、硬胶辊或花岗岩石辊)和底辊(包胶辊,橡胶厚度 25 毫米,勃氏硬度 20~28° 或肖氏硬度 85~88°) 构成。上下辊间线压力为 $5.4 \sim 22.6 \times 10^3$ 牛顿/米 (5.5~23 公斤/厘米)。沿上辊和底辊全宽的适当位置,各设有一根喷液管,直接向辊面喷淋胶液。在底辊下方,设有承胶槽,用以承接上下辊间挤压出来的胶液。也可以在承胶槽中盛放胶液,作为施胶槽用,在这种情况下,则应撤除底辊的喷液管。底辊侧面设有防溅板,而上辊则附有刮刀装置。纸幅是从辊面吸取胶液。如图所示,在纸幅进入施胶装置的一方,设有弹簧辊,用以调整纸幅的进入角。

近年来,又有改用水平式施胶辊装置的趋势(见图 2-2-9)。如图所示,右方硬胶辊为主动辊,左方软胶辊为从动辊,纸幅经过弹簧辊后,沿着与垂直线作 25° 角进入辊间。两辊间线压力约为 $4.41 \sim 13.24 \times 10^3$ 牛顿/米 (4.5~13.5 公斤/厘米)。施胶完全依靠喷液管的喷淋,并在两辊间上方形成胶液池。在施胶辊下方适当位置,可设置承胶槽以承接多余的胶液(图中未示出)。

在操作中,要确切控制喷液量,务使不致短缺,或超过需要。一般认为,进入施胶装置的纸幅,水分含量最好是在 8~12%,而纸幅进入角的大小,则对施胶均匀度有着重要作用。当然,施胶效应的取得,主要还是决定于施胶剂的选定。要特别注意到防止泡沫的形成,这是表面施胶操作中一个很重要的问题,必要时,可加用防沫剂。

辊式施胶装置属机内施胶设施,通常是安设在造纸机干燥部最后 1~2 组烘缸的前

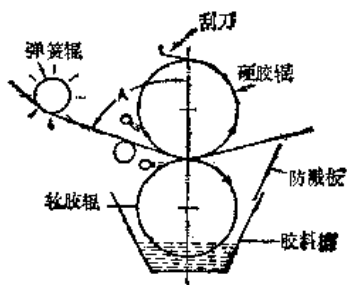


图 2-2-8 辊式施胶装置

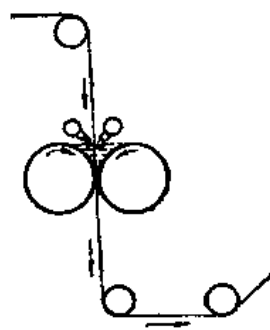


图 2-2-9 水平式施胶辊

面。来自造纸机湿部的纸幅，通过前面 1~2 组烘缸获得干燥后，进入施胶装置。施胶后纸幅约含水分 30~35%，可再通过 6~12 个烘缸，取得最后的干燥。施胶后纸幅所需干燥面积约为干燥部总干燥面积的 17~38%，一般多为 25% 左右。

3. 烘缸施胶

有些单烘缸造纸机也运用表面施胶的方法，在取得施胶效应的同时，又能提高纸张的光泽度。施胶作用是通过直接紧靠着烘缸表面的施胶辊来达到的（图 2-2-10）。如图所示，施胶辊安设在烘缸刮刀下侧，与烘缸垂直中心线形成 49° 夹角。在施胶辊下方，设有胶液槽，施胶辊浸入胶液的深度约 10 毫米。胶液槽盛放的胶液由高位槽（图中未示出）供给，从胶液槽溢流出来的胶液，流送至承胶槽（图中未示出），然后用泵再将其送至高位槽回用。施胶辊由烘缸带动迥转，并将胶液涂于烘缸表面。湿纸幅与烘缸表面接触，并经托辊挤压，即会在纸面上形成薄层胶膜，在烘缸上得到干燥，取得施胶效应，并提高光泽度。施胶辊直径约 120 毫米，橡胶硬度为勃氏 43° 或肖氏 84° 。在施胶辊上方，设有橡胶刮刀，用以刮除多余的胶料。

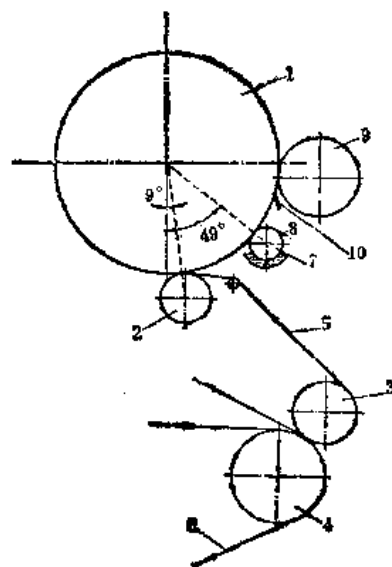


图 2-2-10 单烘缸造纸机的表面施胶

1—大烘缸 2—托辊 3—上压辊 4—下压辊 5—上毛毯 6—下毛毯 7—施胶辊 8—橡胶刮刀 9—纸卷 10—烘缸刮刀

4. 压光施胶

仅用于配有两台压光机的纸板机上。一般是在第一台压光机顶辊下边第三和第四压光辊侧面，设有施胶槽，施胶槽的一侧直接与压光辊接触，用增强硬橡胶制成的槽底紧靠着压光辊。压光辊从施胶槽吸取胶液，转到纸面，完成表面施胶任务。施胶后主要是依靠随后通过其他压光辊，取得干燥所需热量。如前所述，压光施胶仅限于纸板表面施胶用。

第二节 加 填

一、加填的目的和作用

(一) 加填的目的

加填的首要任务是提高纸张的不透明度和亮度。加填又能同时改进纸面的平滑度和均匀状态,增加纸张的柔软性,降低纸张的吸湿性能和变形程度。加填纸张的吸墨性能较好,适印性较强。

通常,多采用矿物质填料,其比重较大,价格又低廉,在纸张中代替部分纤维,可以降低纸张的制造成本。

应该指出,也有些纸张加填的目的,主要不是为了改进光学性能,而是为了满足某些特殊质量要求。例如,卷烟纸使用碳酸钙,不仅为了提高不透明度和亮度,改进手感性,更主要是为了改进透气度,调节其燃烧速度,使与烟草的燃烧相适应;导电纸加碳,使之取得导电性能。字型纸板加用硅藻土,以提高其可塑性和耐热性,以利压型和浇铸铅板操作的顺利进行;有些特殊纸种(例如证明文件用纸、钞票纸等),甚至加磁性铁化合物,防止伪造票据的不法行为。

由此可见,加填对大部分纸种来说,在技术上是必要的,在经济上是合理的。

(二) 加填的主要作用

纸张的不透明度和亮度均属光学性质范畴,具体反应在对光束的折射、反射和散射的程度。纸张亮度是指在光的照射下,纸面反射光的强度。亮度愈高,白度愈大,纸张的反差愈好,印刷时印迹清楚。为此,在造纸工业中,往往采用“白度”作为“亮度”的同义语。光束照射到纸面上,会出现不同的反映,而呈现纸张不透明度的不同情况。例如,照射在描图纸上的光束,大部分会透过纸张,发生折射,这就说明,描图纸具有较高透明性能。照射在加填印刷纸上的光束,则大部分发生散射或反射,其结果是纸张不透明度较大,亮度也较高。如果光束是照射在色有光纸上,则又会较多地被掺杂于色纸中的染料所吸收,光的散射和反射较少,其结果是纸张不透明度较大,但亮度则大大下降。由此可见,纸张的不透明度和亮度在很大程度上取决于光束的散射或反射。

没有加填的纸张是由纤维和空气组成,空气填充于纤维间孔穴中。纤维的主要组成是纤维素,其折光率为1.53,空气的折光率为1.0。两者折光率不一样,因此,当光束照射到纸张表面,即会有部分光在纤维和空气两者界面处发生散射,从而赋予纸张以一定的不透明度。这样形成的不透明度往往不能满足纸张用于印刷的需要,主要是仍然比较容易出现“透印”,即从纸张的一面可以看到另一面的印迹。如加折光率和亮度均大于纤维素的白色颜料作为填料,可以有效地增大纸面的散射面积,不但能提高纸张的不透明度,又能增加其亮度。这是由于在加填后的纸中,存在着处于纤维与空气间、颜料与纤维间以及颜料与空气间三类不同的界面,在这三种界面中,由于颜料与空气两者折光率的差值较大,因此光束在颜料和空气间界面处得到最大散射,这是导致不透明度和亮度增大的主要方面。

纸浆的化学组成也会影响到纸张的光学性能。例如,跟纤维素相比较,木素的折光

率较高,吸收光的能力也较强。因此,含木素较多的纸张(例如以磨木浆为主要配比的新闻纸),亮度较低,但不透明度却较好。

纸张的厚薄对光的反应也有差别。光束易于透过薄纸,要提高薄型纸张的不透明度,需要选用折光率较高的填料(例如折光率为2.55~2.70的二氧化钛)。定量在50克/米²以上的纸张,采用滑石粉(折光率1.57)或瓷土(折光率1.55),即能提高其不透明度。

由上述情况可见,要想通过加填,达到提高纸张的不透明度和亮度的目的,必须选择折光率、散射系数和亮度均较大的颜料,作为填料。

在没有加填的纸张中,由于相互交织的纤维间存在着孔穴,又会使纸面呈现凹凸不平,手感性较差。用这类纸张印刷,势必出现印迹深浅不一,低凹的地方,印迹浅淡,轮廓模糊不清。在加填的纸张中,填料散布于纤维间,填充孔穴,能使纸面取得更好的均匀性和平滑度。加填还能改进纸张的柔软性和手感性,纸面较柔软,能更好地适应压光处理,有利于进一步提高纸张的平滑度。

加填也会带来一些不良后果,主要是对纸张物理强度和施胶度的影响。

大多数填料都对纸的施胶有影响,其中以碳酸钙的影响最大(见本章第一节)。据认为,对一般填料来说,加填量不超过10~15%,对施胶度的影响还不太严重。

加填会使纸张的裂断长、耐破度和耐折度有较大下降;撕裂度则受影响较小。这是由于填料颗粒填充于纤维间,减少纤维间的接触面,妨碍纤维间氢键的结合。加填纸压光时过于剧烈,既易损伤纤维,导致纸张物理强度的下降,又会在纸面上出现“黑道”。纤维间结合较差,往往会导致纸面掉毛、掉粉。对含有较多苇浆或磨木浆的纸浆来说,掉毛、掉粉常常是与加用填料过多有关。

在夏天,又往往由于回用白水中带有较多填料,易于在管道中、贮浆池或稳浆箱等处,产生腐浆。有些工厂在夏季适当减少填料用量,并在白水中加用灭菌剂,大大减少腐浆的形成。

总之,加填时,填料用量要适当,同时还要根据纸张质量要求,选用合适的填料。

一般认为,加填应在加胶加矾之后,可在打浆机、贮浆池、配浆箱或稳浆箱等处加入。

二、填料的性质及其选用

(一) 填料的选用

综合上述情况可见,是否需要加填,选用何种填料,加用多少填料,都要根据纸张最终用途而定。例如,在抄制要求物理强度较高的纸种时(如纸袋纸、电缆纸等),一般都不加填。又例如,在抄制要求具有良好吸收性能的纸种时(如羊皮纸原纸、铜纸原纸等),也不能加填。但是,对大多数纸种来说,为了提高纸张的不透明度、亮度、平滑度、柔软性、光泽度、尺寸稳定性等,加填是完全必要的。当然,加填量要适当,既要取得预期的光学性能和其他性能,又要尽量减少对物理强度和施胶度的影响。填料种类的选择,更要从技术经济方面多加考虑。一般来说,定量在50克/米²以上的印刷纸,加用价廉的滑石粉,即可满足需要;40克/米²以下的字典纸,则需要考虑选用价格虽较

高、但加填效果较好的二氧化钛。又例如，书写纸对施胶度要求较严格，因此加填量不宜过多。

据此，必须根据下列条件选择填料：

- (1) 颗粒细腻且均匀；能较多地留存于纸张中。
- (2) 亮度较高，无杂质而有光泽。
- (3) 比重较大，不溶解或不易溶解于水。
- (4) 折光率较大，散射系数较高，具有较强的复盖能力。
- (5) 化学性能较稳定，不易受酸、碱作用，也不易产生氧化或还原反应。
- (6) 资源丰富，精制加工简便。
- (7) 价格低廉。

就当前生产情况来看，在国内，滑石粉获得最广泛使用，在国际上瓷土和碳酸钙也被广泛应用着。这些填料资源丰富，价格低廉，其特性又能满足一般需要。二氧化钛则多限于薄纸生产或其他特殊需要。其他填料则多用于特定条件下，以取得更好的光学效应。

加填量主要视纸张质量而定，也要适当考虑选用填料的性质。加填量有少至 2%，有高至 40% 以上的，多数为 10~20% (见表 2-2-2)。

表 2-2-2 几种纸张加填量示例

纸 种	填 料 种 类	加 填 量 (%)
书写纸	滑石粉、瓷土	4~10
凸版印刷纸	滑石粉、瓷土、碳酸钙、二氧化钛	5~40
胶版印刷纸	滑石粉、瓷土、二氧化钛	10~25
字典纸	滑石粉、碳酸钙、二氧化钛	20~30
有光纸	滑石粉、瓷土	10~20
打字纸	滑石粉、瓷土	20~25
新闻纸	滑石粉、瓷土、碳酸钙	2~6
卷烟纸	碳酸钙	35~40

(二) 常用填料及其特性

表 2-2-3 给出常用填料的特性，可供参考。可能存在于纸张中的各种物质的折光率为：纤维素 1.53，松香 1.55，淀粉 1.53，动物胶 1.53，石蜡 1.43，水 1.33，空气 1.0。在纸张中，加入折光率与纤维素接近的填料，填充带有空气的孔穴，即能改进纸张的不透明度。从表可以看到，绝大多数填料的折光率为 1.53~1.65，均能起到上述作用。加入填料的折光率愈高，其效果愈显著。这也就说明了二氧化钛(折光率 2.55~2.71)特别适用于薄纸的生产，尤其适合于石蜡施胶纸的缘故。

从表 2-2-3 又可以看到，常用填料的亮度均大于纸浆的亮度，因此又能提高纸张的亮度。表中所示亮度是在 457 毫微米波长的光束下测得的数值。硫酸钙有着较高亮度，但是硫酸钙在水中的溶解度较大，在纸张中留着较少，因此没有得到广泛应用。

散射系数是填料在纸张中显示不透明作用的一项综合指标，其数值取决于填料的形状、粒度以及填料与周围物质之间的折光率的差值。填料多为细小片状、针状或球形

表 2-2-3

常用填料的性能

填料种类	化 学 组 成 (近似值)	比 重	粒 度 (微米)	折光率	散射系数 (100 S_n)	亮度 (%)	颗 粒 状	备 注
滑石粉	30.6% MgO , 62% SiO_2	2.7	0.25~5.0	1.57	—	96.8	细小片状	主要用于表面涂布
瓷 土	39% Al_2O_3 , 45% SiO_2	2.58	0.5~10.0	1.56	9.5~11.5	82	细小片状	
白 垩	96% $CaCO_3$	2.65	0.1~2.5	1.65	17~24	98	圆形	
沉淀碳酸钙	98.6% $CaCO_3$	2.65	0.1~0.35	1.858	28~33	98.9	菱形	
钙镁白	65% $CaCO_3$, 35% $Mg(OH)_2$	2.6	1.0~2.0	1.53	18	92~94	—	
钛 白	98% TiO_2	3.9	0.15~0.3	2.55	43~51	95.1	球形	主要用于薄纸、蜡 纸等
红金石钛白	90~95% TiO_2	4.2	0.15~0.3	2.7	54~58	96	球形	同 上
锌 白	95% ZnS	4.0	0.3	2.37	—	98	球形	主要用于浸渍加工 纸
硫酸钡	97% $BaSO_4$	4.3~4.4	1.0~2.0	1.64	7.8	98	针状	主要用于表面涂布
沉淀硅酸钙	5% CaO , 78% SiO_2	2.08	0.08~0.13	1.45	25.4	96.5	球形	主要用于克服树脂 障碍
硅酸铝	67% SiO_2 , 12% Al_2O_3 , 9% Na_2O	2.10	0.2	1.55	22.4	95	球形	
硅藻土	92% SiO_2	2.0	0.5~4	1.47	24~40	69~83	—	

等，其粒度随品种而有很大差别。据认为，最理想粒度为 0.25 微米左右，即相当于光束波长的半数；小于 0.1 微米或大于 1.0 微米的填料过多，都会不利于光的散射。填料的散射系数可根据下式求得：

$$S_n = \frac{S - (1 - Y)S_f}{Y} \quad (2-2-4)$$

式中 S_n ——填料的散射系数；

S ——加填纸的散射系数；

S_f ——不加填纸的散射系数；

Y ——纸中填料含量所占比例。

表中示出的散射系数即为 S_n 乘以 100 的数值。纸张的散射系数则可根据不透明度的测定求得。

纸浆的散射系数一般均较小（见表 2-2-4）。填料的散射系数多为纸浆散射系数的 3~4 倍以上。填料粒度愈小，比表面愈大，散射能力得到增强，因此不透明度较大。

表 2-2-4

纸 浆 的 散 射 系 数

浆 种	亮 度 (在 457 毫微米波长下测得)	散 射 系 数 (100 S_n)
磨木浆	70	8.6
阔叶木硫酸盐浆	86	4.2
本色亚硫酸盐木浆	64.5	2.85
针叶木硫酸盐浆	90	2.5~3.0
针叶木硫酸盐浆 (粗纤维)	86	2.2

注：所有浆种均抄成印刷纸，再测得上列数据。

这就是二氧化钛和碳酸钙之所以比其他填料优越的原因。

滑石粉和瓷土粒度较大,折光率和散射系数均不太高,但由于价格低廉,故在一般纸张中获得较广泛应用。应该指出,钙含量较多的滑石粉,亮度虽较高,但对施胶和染色均有不良影响,尽可能不要使用。

用作填料的碳酸钙有天然产品(白垩)、沉淀产物和钙镁白三种。白垩粒度较大,加填效果不如粒度小的沉降碳酸钙。碳酸钙亮度较大,吸收油墨的性能也较好,是良好的填料。但是,碳酸钙会妨碍松香胶的施胶作用,因此,以碳酸钙加填的纸,要考虑采用其他施胶剂。碳酸钙又会与矾土或其他酸类发生作用,造成大量泡沫,同时又会影晌色纸的色调。用于亚硫酸盐木浆,则又会加剧树脂障碍。对这些问题要给予应有的注意。碳酸钙可用于凸版印刷纸、字典纸等。卷烟纸加用碳酸钙,则主要是为了调节燃烧速度。钙镁白则多见用于纸张的表面涂布加工。

钛白来自锐钛矿石或红金石,属于高效填料。钛白粒度小,折光率和散射系数均极高,且加填用量较少,因此对纸张物理强度影响也就较小,是其主要优点。钛白价格较高,多限用于字典纸(加用量达15%)、航空信纸(9%)、低定量印刷纸(1~5%)等薄页纸类。

锌白的使用效果远远不如钛白,多见用于树脂浸渍处理后的纸和纸板。硫化锌遇铜易变色,使用锌白时要注意到这个问题。

在造纸工业中,硫酸钡主要用于纸张的表面涂布加工。在生产高光泽纸和纸板时,有时也采用硫酸钡作为填料,但其留着率一般均较低。

还有以沉降硅酸铝、硅酸钙等含硅物质作为填料使用的。这类填料的特点是粒度小、散射系数较大。在抄制航空信纸时,如用8%钛白和3%含硅填料,能改进二氧化钛的分散,有利于提高纸张的不透明度。在纸浆中加硅藻土(0.5~1.5%),还可以克服树脂障碍,并同时改进匀度和滤水性能;硅藻土具有磨蚀作用,使用时要特别注意。

(三) 填料留着率的计算方法

在抄纸过程,会有部分填料随同白水流失,只有留存于纸张的那一部分填料起着加填作用。通常,可通过下式求得填料留着率:

$$R_t = \frac{A_1}{A_2} \times 100 \quad (2-2-5)$$

式中 R_t ——纸中填料留着率(%);

A_1 ——绝干纸中灰分含量(%);

A_2 ——绝干纸浆中灰分含量(%)。

上述计算方法涉及灼烧、冷却和衡重等手续,化验操作较为烦琐,且所得留着率仅为近似值。因为在灼烧过程中,填料本身重量会有少许损失,而且纤维灼烧后也会留存部分灰分。如欲求得较准确的留着率数据,则应将这些因素考虑在内,这样则又会使化验操作更为烦琐。从控制生产操作出发,求得留着率近似值,一般来说已足以满足需要。

为此,近年来,又多趋于确定单程留着率,取得填料留着率以及其他添加剂留着率的近似值,用以指导生产。单程留着率的计算方法有如下式所示:

$$R_t = \frac{Cx}{H} = 1 - \frac{Ty}{H} \quad (2-26)$$

式中 R_t ——单程留着率(%);
 C ——伏辊处纸幅干度(%);
 T ——网下白水浓度(%);
 H ——流浆箱浆浓(%);
 x ——到达伏辊处的浆量占流浆箱浆量的比值;
 y ——通过铜网流失的浆量占流浆箱浆量的比值。

试验研究工作指出, x 一般约为 3~5%, 而 y 则为 95~97%。如取 y 为 0.95, 则只要测定流浆箱浆浓和网下白水浓度, 即可求得单程留着率。

(四) 填料的留着机理

可以认为, 填料的留着是机械过滤和胶体吸附的综合作用的结果, 并以吸附作用为主。

颗粒较大的填料(例如滑石粉、瓷土等)不易随同白水流失, 留着率较高。纸张定量较大, 纤维构成较厚滤层, 过滤速率较低, 填料留着也就较多。这是机械过滤学说的基本观点。这一观点能够在某些方面解释填料的留着, 但无法解释颗粒细小的填料的留着, 也无法解释助留剂的作用。

胶体吸附学说则认为, 填料颗粒在水中带负电荷, 吸附带正电的电解质(例如矾土), 变为带正电荷, 并沉积于带负电荷的纤维上。对填料的动电势测定证明, 在 pH 4.5 的情况下, 填料带负电荷, 例如, 瓷土的电动电位为 -18 毫伏, 滑石粉 -5 毫伏, 钛白 -18 毫伏至 -30 毫伏。研究工作又指出, 在等电点附近, 可以取得最佳的絮聚, 有利于填料的留着。事实上, 在纸浆中加用矾土、铝酸钠、硅酸钠、动物胶、阳离子淀粉、聚丙烯酰胺、聚丙烯酯等, 均能起促进絮聚的作用, 有利于助留。可以在造纸机前的冲浆泵、流浆箱、稳浆箱等处加入这一类助留剂。上述情况可以说明吸附和絮聚作用的重要性, 并能对颗粒细小的填料获得留着, 作出适当的解释。

生产实践证明, 填料留着率随下列情况而增加: (1) 纸张定量和厚度的增加; (2) 纸浆打浆度的提高; (3) 施胶时矾土用量的增加; (4) 配浆比率中长纤维的增多; (5) 白水回用量的增加, 以及 (6) 浆料温度的提高。提高造纸机车速, 加大真空箱、真空伏辊、真空压榨等处的真空度, 增加造纸机网部振幅和振次, 均不利于填料的留着。在网部用案板取代部分案辊, 取得较缓和的抽吸作用, 又可望提高填料留着率。

在低速造纸机上, 填料留着率一般能达到 50~70% (单程留着率则约为 30%); 高速造纸机的填料留着率则往往要低得多, 其单程留着率有时只达到 5~15%。为此, 近代高速纸机多已趋于运用助留剂, 借以提高填料留着率。

使用价格较高的填料时, 加用助留剂, 有利于降低生产成本, 这也是近代的一个趋向。以生产字典纸为例, 加用 10% 钛白, 留着率只有 40%; 如再加 0.05% 聚丙烯酰胺和 2% 矾土, 调整 PH 值至 6.0~7.0, 可以有效地提高钛白留着率至 70%。

应该承认, 对填料留着的机理还有认识不够充分的地方, 但是, 随着助留剂的较广泛应用, 近年来对这方面的认识已有比较大的发展。有关助留剂的问题, 将在本章第四节再予详细阐述。

第三节 染色

一、纸张的色泽

任何物体所表现的色泽，都是宇宙光谱中可见光某一部分的具体反应。肉眼能观察到的宇宙光谱中波长在 $4000\sim 7000\text{\AA}$ 的那一部分，称为可见光。波长 $2000\sim 4000\text{\AA}$ 的紫外光和 $7000\sim 50000\text{\AA}$ 的红外光，都是肉眼所不能看到的。

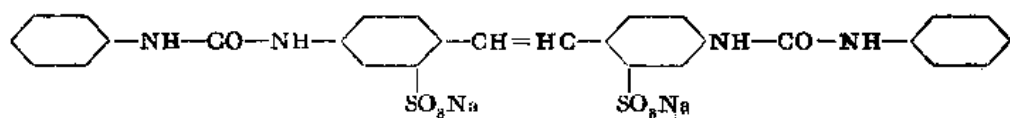
可见光即白光，由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光组成。当光束照射到物体表面，部分被吸收，部分被反射；反射出来的光即在人们肉眼中反映出物体具有的色泽。可见光全部被反射，则物体为纯白；反之，全部被吸收，则物体为全黑。如若只吸收可见光中某些色相，则物体即具有反射出来的色相所反映的色泽。

纸浆纤维总是略呈黄色至灰白色，即使是经过漂白处理，也依然如此。这是因为纸浆纤维中所含木素倾向于吸收波长在 $4000\sim 5000\text{\AA}$ 的紫色和蓝色光谱所致；纸浆中木素含量愈多，其色泽也就愈深。如在稍呈黄色的、木素含量较少的漂白浆中，加入蓝紫色或红蓝色染料，吸收波长为 $5000\sim 6000\text{\AA}$ 的黄色或橙色光谱，即能起互补作用，使其在肉眼观察下反映出较纯白度（但是，这种产品在常用光学仪器的测定下，所得数据反而略有下降。其理由在后面再予阐述）。在实际生产中，往往在加胶、加矾、加填后的纸浆中，加少量品蓝、湖蓝或群青色料（ $0.1\sim 0.3\%$ ，对浆量），就是为了达到这一目的。有时，又加用桃红，调整纸浆的黄绿色或淡蓝色。这些做法称为“显白”，与生产色纸的“调色”的意义完全不同。

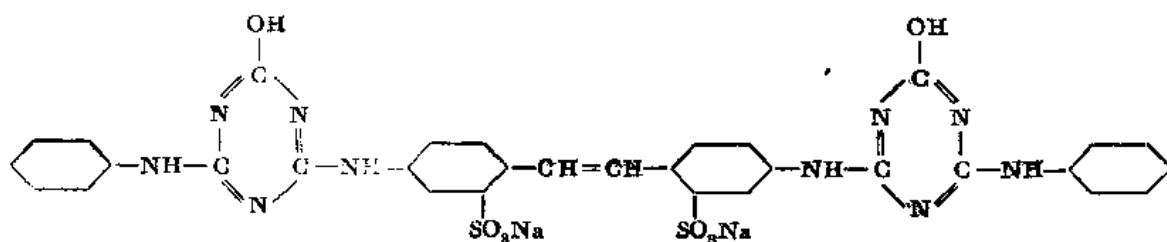
在造纸工业中，常常将白度作为亮度的同义语；实际上，白度和亮度代表着两个迥然不同的概念。当一定波长的可见光照射到纸张表面时，被反射的光占整体光束的百分率，即为纸张的亮度。现行常用的光学仪器多采用 $3800\sim 6000\text{\AA}$ 波长的光束，测定纸张的亮度。我国纸张白度标准试验方法为蓝光法，选用波长为 4570\AA ，并以氧化镁板的反射效能作为 100% 标准亮度。测定时，以标准氧化镁板进行校正，取得 100% 亮度；再用以测定纸的试样，取得相对反射值，即为纸的亮度。白度则指肉眼的反映，依靠肉眼，采用标准白度板对纸张进行对比观察，操作虽较简单，但所得数值可能因人而异，也会因观察时光线不同而有差别，可靠程度较差。

上述加色料使纸张显白的方法，只能起吸收光束中某一不希望存在的色相的作用，与此同时，又会削弱反射强度，实际上并没有能够提高亮度。但是，如果在漂白浆中加用荧光增白剂，则能克服加入色料的方法的不足之处。造纸工业常用的荧光增白剂为具有共轭双键结构的有机化合物，且大多为能激发荧光的胺基磺酸类基团，同时又带有能吸收紫外光的芳香胺、脂肪胺或其衍生物的基团，还可以带有增强牢固性能的三聚氰氯基团。国产荧光增白剂主要有：

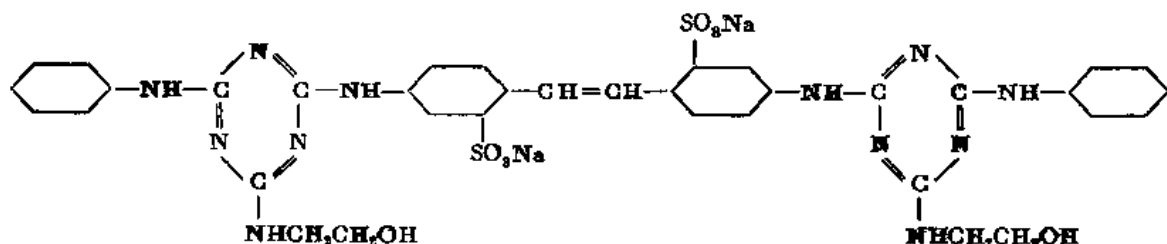
荧光增白剂 B（具有红光）



荧光增白剂B (具有蓝光)



荧光增白剂VBL (具有蓝光)



荧光增白剂能吸收紫外光，并将其转化为蓝光或红光，可以抵消纸浆中的淡黄色，取得显白作用。荧光增白剂不但不会降低纸张的反射强度，反而会使其有所增加，取得更高亮度。但是，应该指出，荧光增白剂不适用于本色浆，因为本色紫色泽较深，又具有吸收紫外光的能力。近年来，发现荧光增白剂有致癌作用，因此不能用于包装食品的纸张。

市售荧光增白剂为淡黄色或黄褐色粉末。使用时，可先行加热水使其充分溶解，再加冷水稀释，用量一般为 0.1~0.3% (对浆量)。为了保证荧光增白剂的作用，应当注意浆料和生产用水中不应有过量钙、镁或其他金属离子的存在。施胶时，矾土用量也不宜过多，否则会对增白剂的作用有所影响。

纸张的染色，是指在纸浆或纸张中加入某一种色料，使有选择性地吸收可见光中大部分光谱，未被吸收而被反射出来的光谱，即为所需色泽。这就是生产色纸的基本原理。表 2-2-5 示出，可见光中各种色相的不同波长及其补色。所谓补色是指能与另一色相起互补作用而达到显白的目的。

表 2-2-5 光 谱 色 与 补 色

波 长 (Å)	光 谱 色	补 色
4000~4240	紫	黄 绿
4240~4550	蓝	黄 橙
4550~4920	青	紫 红
4920~5650	绿	蓝 青
5650~5850	黄	青
5850~6470	橙	蓝
6470~7000	红	绿

肉眼对色相的反应，因人而异。就大多数人来说，对波长 4000Å 和 7000Å 的反应都比较差；当波长达 5550Å 时，也就是达到黄色和绿色光谱范围内，反应最敏感。

二、色料的种类及其性质

用于色纸生产的色料，可分为颜料和染料两大类。

染色用的颜料大多数属无机化合物，例如烟炱、群青、铬黄、银珠等，也有选用有机合成颜料的。如前所述，大多数填料都是白色颜料。颜料不溶解于水，与纤维素无亲和力，而是依靠矾土的作用，固着在纤维表面取得着色。颜料耐光性能较强，是其主要优点；其耐酸、耐碱和抗氯性能，则视品种而异。在色纸生产中，很少使用天然颜料，主要是选用合成颜料。有机合成颜料的着色能力较强，所制得纸张色调也较鲜艳；无机合成颜料在这些方面的表现显得差些。颜料染色质量在很大程度上取决于颜料的粒度及其在纸面的分散情况。除耐光性能以及对化学药剂的抗拒性能外，颜料在其他方面多不如染料。使用颜料染色，又易于导致纸张染色的两面性。

染料有天然产品和合成产品之分。早期色纸生产均采用天然染料，近年来已被合成染料所取代。合成染料大多可溶于水，着色力强，价格又低廉，是其优点。按性质而论，合成染料大体上可分为碱性染料、酸性染料和直接染料三大类。

碱性染料为具有氨基碱性基团的有机化合物，可溶于水，呈碱性。碱性染料着色能力极强，色调鲜艳，是色纸生产中获得最广泛应用的色料。碱性染料对本色化学浆和磨木浆具有较强亲和力，不施胶不加矾，也能取得良好的染色效果。对漂白浆，则亲和力极弱。用以处理漂白浆时，必须加用媒染剂(例如丹宁酸)，并在加胶加矾前，加入染料和媒染剂。应该注意到，加用媒染剂，会在一定程度上影响色调。使用碱性染料时，温度最好不超过 70℃，否则易生成不溶性色淀，在纸中出现色斑；pH 一般应为 4.5~6.5。碱性染料耐光性极差，耐酸、耐碱、抗氯等性能也较弱，特别是遇碱和硬水，极易生成色斑，遇酸则易于生成色淀。

酸性染料为带有苯羟基或磺酸基团的有机化合物，呈酸性，极易溶于水。酸性染料着色能力较差，色泽的鲜艳程度不如碱性染料。其耐光性能较强，但耐酸、耐碱和抗氯性能则极差，抗潮性能也较弱。酸性染料对纤维素无亲和力，但对蛋白质的亲和力极强，故常用于皮革和纺织品的染色。用于染纸时，必须使用矾土作为媒染剂。上染程序可以是加染料、加胶、加矾，也可以是加胶、加染料、加矾。据认为，松香胶不但能取得憎液性能，且有助于着色。生产用水硬度的大小，对酸性染料的影响不很显著。使用酸性染料，一般均能取得较均匀的着色，但在纸机干燥部受热后，颜色加深，失去光泽。酸性染料对木素也无亲和力，因此，在混合浆中使用，也不致会出现色斑。使用时，pH 值最好在 4.5~5.0；浆料温度对酸性染料影响不大。

直接染料为含有磺酸基团的偶氮化合物，其水溶性略逊于酸性染料，且易于形成胶体溶液。直接染料色泽较暗，适用于深色纸张。直接染料着色能力不如碱性染料，但其耐光性能则优于碱性染料，有些直接染料的耐光甚至比酸性染料还要强些。直接染料对纤维素具有极强的亲和力，在没有加胶加矾或加媒染剂的情况下，仍能取得良好染色效果。由于其亲和力较强，较易出现染色不均匀，用于施胶纸时，最好是在加胶之后，加染料和加矾。这样做可以在一定程度上克服染色不均匀的缺陷，但是由于色淀的生成，又会影响到色纸的光泽。直接染料常用于不加胶、不加矾、具有吸水性能的纸种。使用

时, pH 值为 5.5~6.5, 必要时可加碳酸钠或铝酸钠, 调整 pH 值。如加 5~10% 氯化钠, 并将浆料温度提高至 38~60°C, 可使不施胶纸取得较深色调。生产用水硬度对直接染料略有影响, 应予以注意。经脲醛树脂处理的纸张, 不能采用直接染料染色, 因为脲醛树脂不能吸收直接染料。

应该指出, 同类染料可以混合使用, 酸性染料也可以与大多数染料混用。但是, 碱性染料如与酸性染料或直接染料混合在一起, 则会生成色淀, 导致染色不均匀。但是, 在实际生产中, 使用酸性染料或直接染料时, 仍有加用少量碱性染料, 借以提高前者的色调。

直接染料和酸性染料均可直接以干态形式加在浆料中, 也可以将其溶解于水中再使用。通常是在染料中加少量水, 进行乳磨, 再加 5~10 倍水, 使其溶解。必要时, 也可以采取间接加热的方法, 提高水温至 80~90°C, 加速染料的溶解。碱性染料则不宜以干态直接使用。溶解碱性染料时, 加 1% 稀醋酸, 使成糊状, 再加水溶解。对碱性染料加热时, 必须注意到某些碱性染料(例如碱性玫瑰红、碱性蓝等), 不能适应 50~60°C 以上的温度, 否则会生成色淀。充分溶解后, 可加水稀释至 10 克/升, 贮存备用。一般来说, 碱性染料溶液贮存时间不宜超过 12 小时, 其他两类染料溶液不宜超过 24 小时。使用时, 还应通过 200 目筛或绒布过滤。

三、染色操作和调色

纸的染色可以通过下列方法之一取得: (1) 在纸浆中加用色料, (2) 压光染色, (3) 浸渍染色, (4) 涂布上色。

压光染色实质上是表面染色, 在压光机处使纸张与色料溶液接触, 与压光机表面施胶近似。压光染色偶见于处理纸板, 取其制造成本较低, 色泽鲜艳, 耐光性较强等优点。但由于受压光操作的影响, 色料可能会局部受磨而脱落, 在纸面上形成白斑或水滴。

在浸渍染色中, 使原纸通过色料槽, 取得着色, 然后在烘缸上干燥, 其过程与槽法施胶近似。有时, 又在色料配方中, 加用少量动物胶或淀粉, 使染色后湿纸能更好地贴附在烘缸表面。常用色料为酸性染料, 溶液浓度约为 2~6%; 也可以采用碱性染料, 以取得更好的色调。浸渍染色实际上属加工纸范畴, 需要另外配置一套设备。浸渍染色常见用于皱纹色纸及其他薄型色纸的生产。

涂布上色也属加工纸范畴, 蜡光纸即为一例。有关涂布加工纸问题, 详见本篇第五章“加工纸和非植物纤维纸”。

纸的染色绝大多数还是采取在纸浆中加用色料的方法, 可在打浆机加入, 或在混合泵或其他适当场所连续加入。近年来, 在国际上, 连续染色已有逐渐成为色纸生产主要方法的趋势。

生产色纸, 可以选用单一染料, 进行染色, 但通常往往需要将几种染料混合在一起, 取得不同色调。因此, 首先要确定色料配方, 然后取少量纸浆进行染色和调色试验, 再根据小型试验结果, 在生产上予以实施, 并作必要的调整。

就染色而言, 基本的三种色相是红色、黄色和蓝色, 这三种基本色相称为原色。按不同比例将三者混合在一起, 即可取得各种不同的色相。黄色能使色泽鲜艳, 红色能加

深色调，蓝色则会使色泽变浅，这些是应予注意的基本原则。运用色相图（图 2-2-11），会有助于更好地解决配色和调色问题。如图所示，中央部分为灰色或黑色，光谱七色分

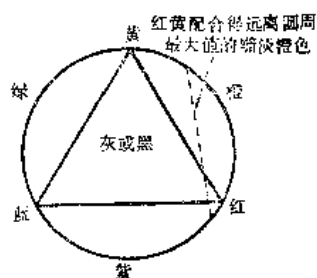


图 2-2-11 色相图

别位于圆周各处，圆周上各点为各种色泽最鲜艳之处。如将相邻的两种原色混合，可制得间色，例如，红黄得橙，红蓝得紫，黄蓝得绿。变动两种原色的配比，又可取得各种不同色相等级，例如，红多蓝少，得樱红色；蓝多红少，得茄紫色。两种间色混合，则得复色；例如，橙绿混合，可得橙黄至嫩绿色。参照图 2-2-11，又可选定调色方案。染色过深，可加用与其相对的色相，使色泽变浅，因为相对色相具有互相吸收所反射光谱的作用。例如，红色过深，

加入与其相对的绿色，纸张色泽即能变浅。染色过淡，或带有杂色，则可加用与其相对的色相，进行校正。例如，为消除红中带紫，可加橙色，进行校正；为校正绿中带黄，可加蓝色。按此类推，即能在染色过程中，调节色泽，以适应色纸生产的需要。

四、影响染色的主要因素

在色纸生产中，色料的选定以及色料配方的确定固然是首要的问题，但也不能忽视抄纸过程对染色的影响。

（一）纸浆性质

各种纸浆具有不同的着色性能，主要与其木素含量有关，也与打浆程度有关，同时又取决于所选用色料的性质。因此，对混合浆（例如，磨木浆和亚硫酸盐浆）进行染色时，困难较多。采用碱性染料处理混合浆，往往易于出现色斑；如有可能，最好采用酸性染料处理混合浆，特别是由本色浆和漂白浆组成的混合浆。

碱性染料虽然与磨木浆、半化学浆等木素含量较多的浆种具有较强亲和力，但仍然存在上色均匀性不易控制的问题。本色硫酸盐木浆多略带微红色，染色也会有些困难。从不同材种制得的纸浆，其着色反应也往往不一样，例如，白杨纸浆着色均匀度较差；云杉纸浆则较好。

提高纸浆打浆度，有利于提高着色效果。其主要原因是，以打浆度较高的纸浆抄成的纸张，具有较大紧密度，有利于分布在其中的染料更好地吸收光谱。另外，打浆度较高，又有利于染料在纸张中的留着。

（二）施胶

以松香胶和矾土对纸浆进行施胶，有助于纸张的着色，但对不同染料情况不完全一样。对酸性染料和直接染料，松香胶和矾土均能起媒染作用，但却会使直接染料带来色相黯淡、耐光性差等后果。松香胶和少量矾土也能促进碱性染料的上色，但是，矾土量过多，pH 值一旦下降到 4.5 以下，则显然不利于碱性染料的使用。单独加矾土，能提高酸性染料和颜料的着色效果，主要是通过矾土的媒染作用以及色料留着率的提高。对施胶纸张还要特别注意各种添加剂的加入顺序。

（三）其他化学药剂

大多无机填料具有吸附染料的性能，特别是吸附直接染料。但是，铝含量较少、杂质

又较多的瓷土，则不能吸附酸性染料和直接染料。由于填料与纤维争夺染料的缘故，因此加填纸张的着色稍逊于不加填纸张。加填又有可能导致染色的两面性。

纸浆中如残留氧化、还原化合物，将会不利于染色操作。为此，漂白浆中不应带有残氯。

有些染料对酸性或碱性介质都很敏感。例如苯紫红、刚果红等遇酸会变成深蓝色。使用这类染料时，必须在中性介质中进行，才能获得鲜艳的色调。另外一些染料却又能在酸性介质中得到促进作用。例如，醋酸铝能增进酸性橙、酸性朱等的着色均匀性，又能使曙光红显得更鲜艳。

对大多数染料来说，钙盐起着不良影响。如生产用水硬度较大，可使用少量矾土，再加染料。

如在纸浆中加用增湿强树脂，应特别注意树脂的性质及其对染色的影响。增湿强树脂往往会给染色带来较多困难，影响情况视树脂性质而定。

(四) pH 值

如前所述，各种染料均有其最适宜的 pH 值范围，严格控制 pH 值，是取得预期染色效果的一个重要方面。对大多数染料来说，pH 值在 4.5~5.5 之间留着率最大，着色效果最好。不过，也应该指出，酸性染料在 pH 值超过 5.0 时，留着率即会迅速下降，而有些碱性染料（例如苯紫红、刚果红、亚甲蓝等），则宜于在 pH 6.0~6.5 下加入。在实际生产中，通常是依靠控制抄纸机网下白水的 pH 值，来取得最良好的染色效果。

(五) 温度

提高染色温度，通常能够增强着色效果。例如，苯紫红在 24℃ 时所得效果远远不如 44℃ 的效果。但是，也要注意，在造纸机干燥部加热过程中，有些染料则往往又会发生变色。例如，以桔橙黄、碱性褐等染施胶纸，加热后略呈红色。有些酸性染料受热后，则易于在纸面上形成块状色斑；直接染料受热，又有略为褪色的倾向。为此，在生产色纸时，要注意到烘缸温度曲线的控制。

(六) 染色两面性

染色两面性可能与施胶或加填两面性有直接关系，也可能是染料本身造成的，通常，比较多是由后一原因引起。凡能导致施胶和加填两面性的操作（例如，造纸机案辊、真空箱、真空辊等处的抽吸作用），均会造成染色两面性。染料本身的性质也会带来两面性的问题，主要是由于不同染料对纤维、细小纤维和填料具有不同的亲和力。一般来说，酸性染料易于出现两面性，直接染料次之；碱性染料用于磨木浆或本色纸浆，则不易出现两面性。如用颜料染色，则更易出现两面性问题。有些直接染料和酸性染料又会在干燥过程中，从紧贴烘缸的纸面一方转移到另一面，而呈现两面性。应对这些情况给予必要的注意。

第四节 添加剂的应用

为适应纸张某些特殊用途的需要，往往在纸浆或纸中掺用各种类型的非纤维性添加剂。例如，在纸浆中掺用碳黑，以提高导电纸的导电性能。又例如，在纸浆中加淀粉，

植物胶、合成高分子化合物、合成树脂等，借以提高纸张的干湿强度。为了防止产生腐浆，用灭菌剂；为防止在抄纸过程中产生泡沫，可加消沫剂。近年来，还用了助滤剂和助留剂，以改进抄纸操作，并提高纸张质量，减少添加剂的流失。

严格来说，凡是在纸张和纸浆中加用的非纤维性化学药剂，均称为添加剂。为此，施胶过程所用施胶剂和沉淀剂，加填所用填料，染色所用染料，均属添加剂范畴。

可以在纸浆经过打浆处理后，即行施用添加剂，可在打浆机内加入，或在混合泵、流浆箱等处加入；还可以考虑在抄纸过程施用添加剂，其作法与表面施胶、压光施胶相同。又可以在抄成纸张后，对纸张进行浸渍处理或涂布处理等，使添加剂与纤维结合。通常，多在纸浆经过打浆后即行施用添加剂，以其操作既较简便且又经济，同时又能保证添加剂在纸浆中获得较均匀分布。这种操作方法通常称为“湿端添加”。但是，也应该指出，湿端添加可能会导致磨浆设备结垢，易于弄脏造纸网和毛毯，并且又会降低纸浆的滤水性能，有较多添加剂会随同白水流失。有些添加剂又会导致泡沫的形成，或增长腐浆。这些问题都是值得注意的。

近年来，添加剂在造纸工业中的应用有很大发展。有关施胶、加填、染色方面的问题，在前面几节已有所论述。本节仅就与提高纸张质量有关并且应用较广的增强、助滤、助留、消沫等问题进行讨论，其他方面的运用添加剂问题，可参阅有关文献资料。

一、增 强

（一）增干强度

众所周知，通过打浆或磨浆，纤维得到润胀、疏解和细纤维化，其比表面积和可塑性随之而有较大的增长，有利于纸在干燥过程中取得更多氢键结合。这是提高纸张物理强度的主要途径。但是，提高打浆度，必然会降低纸浆的滤水性能。润胀程度较大的纤维，在干燥过程中又易于发生收缩，引起绉折、绉纹等纸病的产生。经高度打浆处理的纸浆抄成的纸张，紧度较大，不透明度较差，可压缩性较小，吸湿性能较强，尺寸稳定性较差。另外，打浆或磨浆均需耗费大量电能，增加制造成本。鉴于这些情况，人们求助于化学方法，在纸浆中加用适当的添加剂，作为机械方法的辅助手段。通常用于这一目的的主要化学药剂有淀粉、天然植物胶和合成树脂，统称为增干强剂或粘合添加剂。

在纸浆中加用原淀粉，可以提高纸的抗张强度、耐破度和耐折度，改进纸的耐擦性能和抗磨蚀性能，克服纸面的掉毛、掉粉等缺陷，并能增加纸张的挺度。采用阳离子型淀粉，除能取得良好增强效果外，还有助于提高施胶度。通常，可在淀粉中加水，制成5~8%浓度的悬浮液，直接通汽加热至87~95℃，处理15~30分钟，所得凝胶状物质，即可供直接使用。也可以在淀粉悬浮液中加入定量氢氧化钠，制成凝胶状物质，而不必加热。制备时，要特别注意控制加热温度或氢氧化钠用量，务必保证取得比较完整的胶凝作用。还有一种预胶凝的淀粉制品，能在冷水中取得充分分散，使用起来，显得更为方便。以淀粉作为增干强剂，常用于证券纸、信封用纸、牛皮纸等品种，淀粉加用量一般为0.5~5.0%。

含有甘露糖、半乳糖的天然植物胶，例如槐树豆胶、黄蜀葵等，具有优于淀粉的

粘合作用，可以单独使用，也可以与淀粉配用。由于具有防止纤维絮聚的作用，这类植物胶特别适用于长纤维，在提高干强度的同时，保证纸张匀度良好。植物胶用量一般仅需 0.25~1%。

羧甲基纤维素、甲基纤维素、羟乙基纤维素等水溶性纤维素衍生物，也能有效地提高纸张的干强度。羧甲基纤维素溶解度较大，易于随同白水流失，因此，使用时，必须加矾土作为助留剂。使用甲基纤维素，要特别注意泡沫问题。羧乙基纤维素不但能增加干强度，而且还能提高湿强度。

近年来，又有倾向于选用水溶性合成树脂作为增干强剂的趋势，并以聚丙烯酰胺及其变性产物应用最广。聚丙烯酰胺还能起助留作用和助滤作用，既能促进纸幅保留较多填料和松香胶颗粒，又能使湿纸幅取得较好的滤水，与此同时，施胶效应也会得到提高。聚丙烯酰胺的使用效果极其显著，用量一般只需 0.1~0.5%。使用时，要先加矾土，并控制 pH 值在 5.0 以下，借以取得聚合物的最大留着。

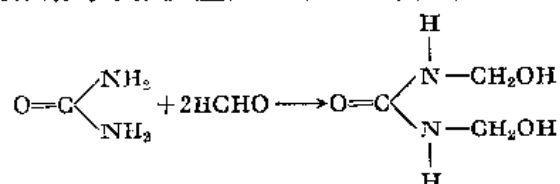
(二) 增湿强度

无论是纸还是纸版，被水完全润湿后，一般只能保持原有干强度的 4~10%。提高湿强度，对纸袋纸、晒图原纸、地图纸、海图纸、广告用纸、宣传画纸、照相原纸、冷冻食品包装纸、手巾纸、毛巾纸等品种，均具有重大意义。在使用增湿强剂后，这类纸张大多能保持原有干强度的 20~40%。除此而外，在纸浆中加增湿强剂，又可给高速纸机的操作，创造更有利的条件。

早期湿强纸的生产，大多是在纸浆中加用醋酸纤维素、硝化纤维素、羟乙基纤维素、干性油、胶乳等，借以提高其抗水性能，以适应最终用途的需要。用白明胶或其他动物胶对纸张进行表面施胶，再使施胶纸与矾土、甲醛或乙二醛在高温下接触，制得具有抗水性表面保护层的湿强纸张，又是另一个方法。这些做法，实际上只起增强纸张抗水性能的作用，并没有从实质上提高纸张的湿强度。近三十多年来，开始采用热固性合成树脂处理纸浆或纸，才是真正使纸取得湿强度的重要手段。

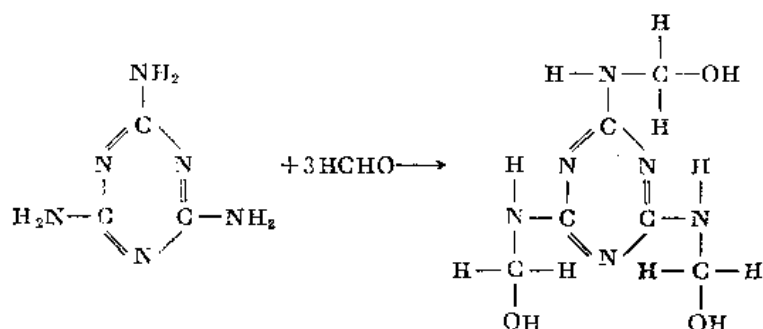
常用的热固性树脂有脲醛树脂和三聚氰胺甲醛树脂。可以在纸浆中加用，也可以采取表面施胶的方法，但以前者效果较好，使用也较广泛。

在碱性介质中，使尿素与甲醛反应，可得二甲醇脲素：



二甲醇脲素为白色晶体，在常温下，可溶于水成浓度约 25% 的溶液，在中性或弱碱性介质中比较稳定，但在酸性催化剂和热的作用下，各个带羟基的碳原子会迅速聚合，生成高分子聚合物，变为脲醛树脂。用脲醛树脂浸渍纸后，即能提高其湿强度。如用来处理纸浆，则必须加入亚硫酸钠、四乙撑五胺、二乙撑三胺或三乙撑四胺等，增加浆料悬浮液中阳离子组成，使阴离子型脲醛树脂能附着于纤维上。还有一种阳离子型脲醛树脂，可以直接加入浆料中使用，不需要加其他阳离子型化合物。还可以加矾土，并控制网下白水 pH 在 4.5，给树脂的熟化创造更有利条件，以便取得更好的湿强效果。

以三聚氰胺与甲醛反应，可得三羟甲基三聚氰胺：



三聚氰胺甲醛树脂是造纸工业中广泛应用的一种增湿强度剂，其溶解度较低，不能用于纸张的表面处理，但在加盐酸处理的情况下，盐酸的 H^+ 与三聚氰胺甲醛树脂相结合，使树脂胶粒带入阳电荷，易于被纤维素吸附，赋予纸的湿强度。

上述热固性树脂吸附于纤维上，然后通过纸张的干燥过程受热获得熟化，并转化为水不溶性物质，使纸取得所需湿强度。

某些纸种，例如手巾纸、毛巾纸等，除要求一定湿强度外，还必须具有较好吸湿性能和柔软性能。这类产品多采用聚酰胺表氯醇(PAE)、聚乙烯亚胺(PEI)或尿烷，以取得所需的湿强度。还可加 0.01~0.05% 润湿剂，提高其吸湿性能。也有加非离子型润湿剂，借以减轻上述聚合物的絮聚。经过氧化处理，将部分羟基转化为酮基的阳离子型淀粉或植物胶，也可用以提供暂时湿强度。

对各种高分子聚合物的增湿强作用的机理，还不很清楚。有的认为，湿强度主要是通过聚合物与纤维素间的极性作用力而取得。但是，也有认为，湿强度的形成是离子交换的结果。

湿强度纸在水中极难离解，这就给损纸处理和废纸回收带来了困难。以脲醛树脂或三聚氰胺甲醛树脂处理的纸张，在弱酸性热水中能够发生水解，因此给处理这类废纸提供了可行的途径。通常，在 pH 3.5~4.0 下，加热至 93°C 左右，历时 30 分钟，即可使纸张失去其湿强度，便于离解成浆。

二、助留与助滤

如前所述，在纸浆中加入填料、松香胶、增干强剂、增湿强剂等添加剂，可以从不同角度改进纸张质量。但是，这些添加剂的相当一部分，又会在抄纸过程中随同白水流失，例如，填料的单程留着率往往只有 5~15%。设法提高添加剂留着率，不但是一个保证纸张质量的技术问题，而且又是一个节约化学药剂、降低制造成本的问题。解决这个问题的途径之一是在纸浆中加助留剂。

造纸工业常用的矾土，在纸浆中实质上起着助留作用。矾土和淀粉配合使用，再加少量氢氧化钠或碳酸钠，能构成凝胶体，也起助留作用。在纸浆中加 0.0008~0.0012% 硅胶，同样能够提高添加剂的留着率。近年来，则多趋于采用聚酰胺类合成树脂，作为助留剂。常见的有聚丙烯酰胺(PAA)、聚乙烯亚胺(PEI)、阳离子型聚酰胺等。这些合成树脂的助留效果比较显著，每吨纸浆只需加用 0.1~0.2 公斤，即能取得极其良好的

留着效果。由于这类合成树脂大多是非离子型的，使用时，必须使用矾土，调节 pH 至 6~7°。

作为助留剂使用的合成树脂，往往又能起助滤作用。这一点对高速纸机的操作，具有极其重要的意义。加入助留剂，既能改进浆料的滤水性能，使适应高速纸机的需要，又能较多地留着填料和细小纤维，有助于改进纸张匀度。有些浆种滤水性能较差，加入合成树脂助滤剂，有利于改进滤水速率，给提高造纸机车速创造条件。例如，以双季矮脚稻草制成的纸浆，稍加打浆，即达 60~70°SR 打浆度，如加 2% 阳离子型聚酰胺，打浆度即能下降 20~30%。

事实上，前面谈到的助留剂和助滤剂均为聚合电解质，能使细小纤维、填料等颗粒集结在纤维表面周围，提高添加剂的留着率，并使纤维间仍保持较多孔隙，以利滤水。

近年来的科学研究工作指出，造纸机的上网浆料实质上是一个纤维和水的分散体系，其固体分散相为纤维和各种添加剂，水则为液态分散介质。这一分散体系具有胶体物质所持有的若干特性，动电势（即 ζ 电位）是其中之一。从理论上来说，如能设法使浆料悬浮体的 ζ 电位趋于或等于零，也就是说，使纤维表面取得接近等电位点状态，则悬浮体中各种质点下再带有相互排斥的电荷，质点间碰撞的机会大大增加，范德华作用力获得充分发挥的机会，从而使质点能更好地相互吸附。由此可见，调整 ζ 电位，会有助于提高添加剂的留着。

试验研究工作指出，造纸机上网浆浓一般多为 0.2~1.0%，在这一浓度范围内，纸浆的 ζ 电位没有太大的变化；不过，不同浆种的 ζ 电位是不一样的（见表 2-2-6）。由表可以看到，各种纸浆的 ζ 电位均为负值，而且随着木素和半纤维素含量的增多，其负值愈大。据认为，化学浆的 ζ 电位跟其羧基含量有关；羧基含量较多， ζ 电位负值即较小。还应该指出，纤维表面如吸附有无机盐类（例如，来自生产用水的钙离子、镁离子等），则又可能显示正值 ζ 电位。

表 2-2-6 纸 浆 的 ζ 电 位

浆 种	ζ 电 位	浆 种	ζ 电 位
磨 木 浆	-50~-60毫伏	漂白亚硫酸盐木浆	-9~-11毫伏
中性盐木浆	-46.1毫伏	漂白硫酸盐木浆	-9~-11毫伏
本色半化学浆	-55~-60毫伏		

注：浆浓为 0.3~1.0%。

在通常使用的浓度范围内，常用添加剂有显示负值 ζ 电位的，也有显示正值 ζ 电位的（见表 2-2-7）。

为此，在加矾土前，含有填料和松香胶的浆料悬浮体显示负值 ζ 电位。加矾后，即会发现 ζ 电位有较大变化。如图 2-2-12 所示，矾土用量少于 5%（对纤维量）， ζ 电位在 -3 毫伏处呈现稳定状态，导致填料、松香胶和纤维之间的互聚效应。增加矾土量， ζ 电位即有变化，但当矾土量达到 10~15% 以上，又重新稳定在 +5 毫伏左右。据此，可以认为，在 -3~5 毫伏的 ζ 电位处，可取得最高的留着率。

表 2-2-7

各种添加剂的 ζ 电位

添 加 剂	ζ 电 位	添 加 剂	ζ 电 位
滑 石 粉	-11.3毫伏~-12毫伏	矾 土	+5毫伏
钛 白	-8.9毫伏~-9.5毫伏	淀 粉	+3毫伏~+8毫伏
瓷 土	-9.3毫伏~-9.5毫伏	阳离子电解质	+5毫伏~+20毫伏
松 香 胶	-12毫伏	增湿强树脂	+6毫伏

在生产操作中,往往强调控制造纸机网下白水 pH 值,实质上是起着控制浆料悬浮体 ζ 电位的作用。例如,当网下白水 pH 为 6 时,浆料悬浮体的 ζ 电位为 -20 毫伏, pH 为 4, ζ 电位上升至 -5 毫伏。

增加矾土用量,固然能提高留着率,但同时又会导致网下白水 pH 值的下降。pH 值下降过多,将会加剧对造纸机部件的腐蚀作用。改用其他带正值 ζ 电位的聚合电解质(例如淀粉、阳离子电解质),使之吸附于纤维表面,改变表面电荷性质,也能取得提高留着率的效果,但不致使 pH 值有太大变化。也可以采用阴离子聚合物,使与矾土配合使用,矾土在聚合物和纤维之间起着键桥作用。例如,在浆料中加用聚酰胺树脂,于 pH 6~8 间,均能取得等电位点的效果(见图 2-2-13,图中纤维素浓度 100 毫克/升)。

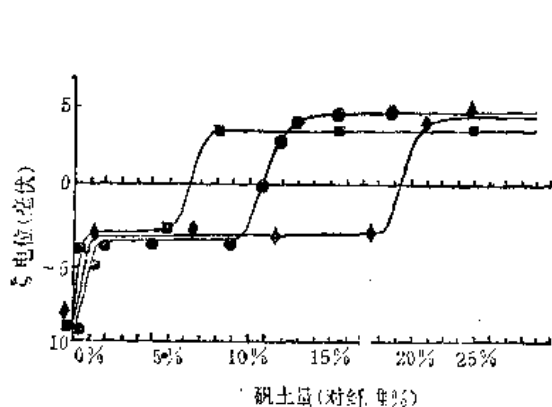


图 2-2-12 矾土用量对浆料 ζ 电位的影响

- ◆ 流浆箱混合浆, 浓度 1%
- 硫酸盐木浆, 浓度 1%
- 亚硫酸盐云杉浆, 浓度 1%

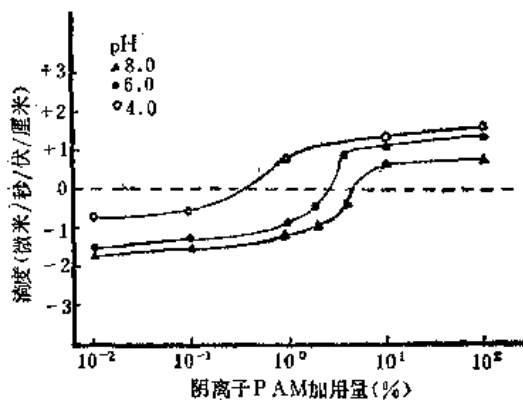


图 2-2-13 在不同 pH 值下,聚酰胺树脂对电泳淌度的影响

采用聚合电解质,又能同时起助滤作用。试验研究工作指出,游离度为 600 毫米(GSF)的原浆,在加用聚酰胺树脂后,其 ζ 电位逐渐趋于接近等电位点,且在 -3 毫伏处出现一个平坦阶段,然后再不断增大,并超过等电点。经磨浆处理后,随着游离度的下降,加入聚酰胺树脂,依然取得与上述原浆一样的 ζ 电位变化趋势(见图 2-2-14)。由图 2-2-14 可见,游离度较低的纸浆,其 ζ 电位在 -3 毫伏处呈现的平坦阶段有着较大的扩展。位于此一 ζ 电位稳定值末端的数据,即为最好的聚酰胺用量。试验研究工作又证明了,上述结论可以适用于游离度在 200~700 毫升范围内的纸浆。

使用增湿强剂、助留剂和助滤剂时,还应注意到这些添加剂在不同 pH 值的具体表

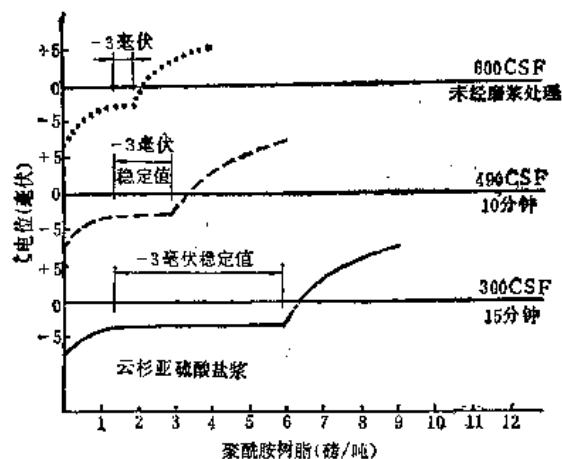


图 2-2-14 浆料游离度与 ζ 电位的关系

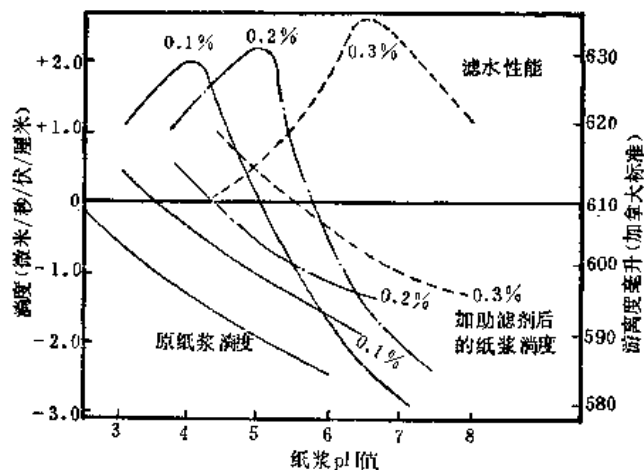


图 2-2-15 聚酰胺对纸浆电泳淌度和游离度的影响

(浆种: 由针叶木和阔叶木混合材制得的漂白硫酸盐浆)

影响到纸张的施胶效果。如果在流浆箱附近出现大量泡沫,则必然会影响到纸浆在网上的滤水以及纸张的成形。泡沫还会集结木浆中的天然树脂,加剧树脂障碍。另外,在洗浆过程和黑液回收过程,泡沫也会给操作带来很多麻烦,影响洗浆质量和黑液的回收率。同样,在表面施胶和涂布加工过程,泡沫的出现也会直接影响到操作和质量。

应该说,最有效的防治泡沫的办法是,设法减少空气混入纸浆中的机会。例如,加强对有关工艺设备的维修,防止清水泵、白水泵、浆泵、磨浆机等处吸入空气;使回用白水通过敞口容器,借以排去其所夹带的空气;在抄纸系统中,使用除气设施。直接对纸浆喷淋清水或喷汽,也会有助于消除泡沫。当大量泡沫的出现已超出上述措施所能控制的程度,则应考虑使用消沫剂,例如煤油、高分子醇类、硅酮以及由烃类、脂肪和甘油酯按不同配比构成的混合物。消沫剂用量通常为 0.01~1.0% (对浆量)。可以在发生泡沫的场所或在其稍靠前处,加入消沫剂。有些工厂在造纸机网部直接喷淋消沫剂溶液,也取得一定成效。

现。图 2-2-15 表示,在不同 pH 值的情况下,加聚酰胺聚合物能够取得的助留和助滤效果。所选用聚酰胺聚合物是由己二酸、三乙撑四胺和表氯醇按 1:1:0.3 比例配制的缩合物。从图 2-2-15 可以看到, pH 值愈高,纸浆电泳淌度的负值愈大。但是,随着聚合物用量由 0.1% 增至 0.3%,纸浆电泳淌度的负值有着较大的减小。例如,当 pH 为 5.8 时,加用 0.3% 聚合物,纸浆电泳淌度趋于接近等电位点。从图中又可以看到,纸浆游离度的最高值大致出现在淌度为 -3 毫伏至 -5 毫伏处。

控制造纸机上网浆料 ζ 电位,还是一个比较新颖的课题,有些理论问题尚有待今后科学研究工作的进一步探讨,予以澄清。

三、消 沫

纸浆中如含有较多细小气泡,势必会导致泡沫的形成。泡沫不但会给纸浆的泵送带来麻烦,还会影

主要参考文献

1. 天津大学等院校: 制浆造纸工艺学, 中国财政经济出版社出版, 1961年, 第357~389页。
2. 北京轻工业学院: 造纸工艺学, 中国财政经济出版社出版, 1962年, 第92~128页。
3. C. E. Libby: Pulp and paper science and technology, Vol. II (1962) p. 40~143.
4. R. G. MacDonald: Pulp and paper manufacture, Vol. III. (2nd. Ed. 1970) p. 19~102.
5. J. P. Casey: Pulp and paper, Vol. II (2nd Ed., 1960), p. 946~1249.
6. 中村长一: 紙のサイズ, 北屋书笈贸易株式会社, 1970年。
7. R. W. Davison: The sizing of paper, Tappi 58, №3:48 (1975).
8. G. B. Thiele: Problem und Perspektiven der Papierleimung, Zellstoff und Papier, Nr. 9: 271, Nr. 10:303, Nr. 11:335 (1977).
9. С. А. Пузырев: Некоторые Вопросы Теории и Практики Проклейки Бумаги Канифольным Клеем, Бум. Пром. №1:19~21 (1978).
10. J. W. Swanson: International sizing of paper and paperboard, Tappi Monograph Series №33 (1971).
11. E. Strazdins: Mechanistic aspects of rosin sizing, Tappi 60, №10:102 (1977).
12. E. Strazdins: Critical phenomena in the formation of the rosin-aluminum sizing complex. Tappi 48 №3:157 (1965).
13. E. J. Vanderberg, Mechanism of the rosin sizing of paper, Tappi 50, №5:209 (1967).
14. R. G. Guide: The relationship between the physiochemical properties of the size precipitate and sizing, Tappi 42, №9:740 (1959).
15. E. F. Thode, S. Htoo: Surface properties of rosin size precipitate III. Electrokinetic properties of rosin-sized wood pulp fibres, Tappi 38, №12:705 (1955).
16. W. E. Frankie: The value of one-pass retention, Tappi 59, №2:84 (1976).
17. E. Strazdins: Factors affecting retention of wet end additives, Tappi 53, №1:80 (1970).
18. R. G. Anderson, J. G. Penniman: Strategy for achieving control of paper wet end chemistry, P. T. J. 158, №2:56 (1974).
19. R. G. Anderson, J. G. Penniman: How to maximize drainage through zeta potential control, P. T. J. 158 №38:22 (1974).
20. D. G. Williams: Minimizing chemicals and fines buildup in white water by chemical means, Tappi 56, №12:144 (1973).
21. E. E. Moore: The role of multivalent anions in pulp systems treated with drainage aids, Tappi 56, №3:71 (1973).
22. E. Strazdins: Surface chemical aspects of polymer retention, 1974 Papermakers conference, p. 59~65.
23. R. W. Davison: Electrokinetic effects in papermaking processes, 1974 Papermakers conference, p. 67~76.
24. T. Lindström: The importance of electrokinetic properties of wood fibres for papermaking, 1974 Papermakers conference, p. 77~84.

第三章 纸 的 抄 造

第一节 概 述

一、纸的抄造方法和设备分类

纸抄造的方法可以分为干法造纸和湿法造纸两大类。其主要区别在于：湿法造纸以水作为介质，干法造纸则以空气作为介质。湿法由于用水作为介质，因而，在抄纸之前，要加入大量的水，制成均匀的纤维悬浮液，而在抄纸过程中又要脱去大量的水，这一加水 and 脱水的过程，就造成造纸过程的设备比较庞大，能量和水的消耗也比较多。干法用空气作为介质，虽有助于解决这些问题，但纤维与纤维之间不能互相结合，在抄造过程中要加入粘合剂，由于目前粘合剂的价格较高，而且干法抄纸车速比较低，因而就限制了干法只能用于某些特种纸的制造。目前绝大多数的纸，都是用湿法抄造的。

湿法造纸设备按造纸机纸页形成部分的结构，一般可以分为长网造纸机、圆网造纸机和夹网造纸机三大类。长网造纸机和圆网造纸机是目前用得最广泛的两类造纸机；大约二十年前出现的夹网造纸机，近十年来在技术上有重大的发展，目前已在造纸技术领域中占有重要地位。目前最大的新闻纸机的幅门已近 10 米，车速达到 1000 米/分，产量达到 600 吨/日以上；最大型的电容器纸机的幅门达到 4.2 米，车速达到 50~250 米/分；车速最快的薄纸纸机车速已达到 2000 米/分左右。

二、造纸机的系列和规范

(一) 造纸机的系列

我国造纸机的系列如表 2-3-1 所示。

(二) 造纸机的生产能力

造纸机的生产能力可以按下列方程式计算：

$$Q = \frac{0.06v B_m q K_1 K_2 K_3}{1000} (\text{吨/日}) \quad (2-3-1)$$

式中 Q ——造纸机生产能力(吨/日)；
 v ——造纸机的车速(米/分)；
 B_m ——卷纸机上纸的宽度(米)；
 q ——纸的定量(克/米²)；
 K_1 ——抄造率(%)；

K_2 ——成品率(%)；

K_3 ——每日平均生产时间（长网造纸机一般以 22~22.5 小时计；圆网造纸机一般以 22.5~23 小时计）。

表 2-3-1 造 纸 机 的 系 列

系 列	公称净纸宽度 (毫米)	卷 纸 机 上 纸 的 宽 度 (毫米)	公称铜网宽度 (毫米)	轨 距 (毫米)	现有造纸机型号举例
I	1092	1132	1350	1900	ZW 1 型长网多缸袋纸机
II _A	1575	1615	1900	2400	ZV 4 型双圆网双缸纸机
II _B	1760	1800	2150	2600	ZW 4 型长网多缸文化纸机
II _C	1880	1920	2300	2700	ZR 1 型长网多缸电容器纸机 RM 1 型长网多缸描图纸机
III	2100			2850	
(IV)	2362	2400	2750	湿部3300 干部3400	ZW 8 型长网多缸文化纸机
V _A	3150	3190	3600	4300	ZW 10 型长网多缸文化纸机
(VI)	3940	3980	4400	5200	ZW 13 型长网多缸新闻纸机

由式中可以看到造纸机车速越高，抄宽越大，抄造率、成品率越高，每日平均生产时间（作业时间）越长，造纸机的生产能力也越大。

上述计算的是造纸机的日产量，如果计算造纸机的年产量，则每年的生产天数一般以 330~340 天计。

（三）造纸机的速度

1. 车速

造纸机的车速是指卷纸机上的实际抄造速度，造纸机各部分的速度是不同的，因此，抄速以卷纸机的速度为准，以米/分表示。

2. 工作车速（工作速度）

工作车速是指一台造纸机在使用时比较合适的车速，一般工作车速是有一定的范围的，如 ZW 8 型长网多缸文化纸机的工作车速是 100~200 米/分，在生产过程中可以按不同的纸种、浆种和其他的工艺条件，在这个范围内选定合适的车速。在设计一台造纸机时，必须按照设计的要求，把工作车速作为造纸机的规范确定下来，作为造纸机设计的根据。

3. 结构车速

结构车速指造纸机的极限速度，一般比最高工作车速提高 20~30%，用以设计和计算零部件的强度和选用传动所需的功率。

4. 爬行车速（即纸机开机运转车速）

爬行车速指为了检查和清洗造纸机的网子、压榨毛毯和造纸机各部分运转中的情况，所使用的慢车速。一般使用的爬行车速为 10~25 米/分。

如前所述，在设计和选用造纸机时，合理地确定工作车速是很重要的。根据我国当前的情况，考虑到原料的集中程度，造纸机的生产能力和规模、经济合理性及国内现有造纸机的车速水平和零部件校核平衡的要求等因素，第 I、II、III 系列造纸机的工作车

速,一般不高于 150 米/分,第(Ⅳ)系列造纸机的工作车速不高于 300 米/分,零部件按校静平衡要求;第Ⅴ、(Ⅵ)系列造纸机的工作车速不高于 600 米/分,零部件要求校动平衡。

(四) 造纸机的宽度

1. 抄宽(纸幅毛宽)

造纸机的抄宽指卷纸机上纸幅的宽度。在抄纸过程中,由于纸幅的收缩,因而造纸机各部分纸幅的宽度是不一致的,因此要以卷纸机上的纸幅宽度为准,以毫米表示。

2. 公称净纸宽度(净纸宽、成品宽、机幅宽)

造纸机的公称净纸宽度指造纸机生产出来的成品纸的宽度,为纸幅规格的倍数,以毫米表示。

抄宽=公称净纸宽度+切边宽

切边宽一般为 40 毫米(每边切 20 毫米)。

3. 铜网宽度

造纸机铜网的宽度可按下列公式计算:

$$B_w = \frac{B_m}{1-\varepsilon} + A \text{ (毫米)} \quad (2-3-2)$$

式中 B_w ——铜网计算宽度(毫米);

B_m ——卷纸机上纸的宽度(毫米);

A ——湿纸边及铜网的错动系数:开式引纸时 $A=150$ 毫米;真空引纸时 $A=250\sim 300$ 毫米;

ε ——纸的总横缩率(%)。

纸张和纸板的总横缩率,是指湿纸页在抄造过程中横向收缩的百分率。其数值的大小与纸张(或纸板)的品种、浆料性质、打浆程度、填料和化学助剂的使用情况、抄造条件(尤其是速比和干燥条件),以及造纸机的结构等因素有关。在一般情况下,粘状浆抄的纸(如描图纸、电容器纸等)的横缩率大于比较游离的浆料抄的纸(如新闻纸、胶版印刷纸等);草类浆由于半纤维素含量较高,抄的纸的横缩率也较大;抄纸过程中速度比较大,干燥比较强烈时的横缩率也较大;多烘缸造纸机抄造的纸张的横缩率比单烘缸纸机大。几种主要纸张和纸板的总横缩率如表 2-3-2 所示:

表 2-3-2 几种主要纸张和纸板的总横缩率

品 种	总横缩率 ε (%)	品 种	总横缩率 ε (%)
新 闻 纸	3~4	电 容 器 纸	10~12
凸版纸、书写纸(长网多缸纸机)	3~5	纸 袋 纸	4.5~6
凸版纸、书写纸(双网双缸纸机)	3~4	草 纸 板	5
图 画 纸	3.5~4.5	箱 纸 板	4.3~5.1
卷 烟 纸	4~6	白 纸 板	6
描 图 纸	10~12	浆 板	2

4. 轨距

造纸机的轨距指造纸机基础上底轨的中心线的距离。决定轨距尺寸,以铜网宽度为

计算的主要参数,并考虑到现有纸机产品的轨距,以及烘缸与基础之间必须具备足够距离等因素,可以采用下列经验公式来估算:

网宽 $B_w \leq 2600$ 毫米 轨距 $= 1.14 B_w + 300$ 毫米

网宽 $B_w > 2600$ 毫米 轨距 $= 1.03 B_w + 600$ 毫米

各系列造纸机的标准轨距如表 2-3-1 所示。

(五) 造纸机的 Z 型(左手机)和 Y 型(右手机)

造纸机分为 Z 型(左手机)和 Y 型(右手机)。其确定的方式为:站在造纸机干燥部末端,面向伏辊,如传动设备在右边的,称为 Y 型机,传动设备在左边的,称为 Z 型机。在建设新的造纸厂(或车间)进行设备选型订货时要特别注意这个问题,要根据工厂和车间的总体布置。如果造纸车间选用一台造纸机,这台造纸机的操作侧以向南为宜,以此来决定采用 Z 型机或 Y 型机;如果造纸车间选用两台造纸机,则选用 Z 型、Y 型各一台。

三、造纸车间的“三率”

造纸车间的“三率”,是指造纸车间的抄造率、成品率和合格率,是造纸车间的主要技术经济指标。“三率”越高,就说明生产越正常,产品的产量和质量都有所提高。

(一) 抄造率

抄造率是指在卷纸机处成纸的完成率。

$$\text{抄造率} = \frac{\text{抄造量}}{\text{抄造量} + \text{抄造损纸量}} \times 100(\%) \quad (2-3-3)$$

抄造量指实际纸卷重量。抄造损纸量包括造纸机的断头损纸、纸轴换轴损纸、各道压榨损纸。但湿纸边(水针纸边)不是抄造损纸。所有抄造损纸,均应折合与抄造量相同的水分来计算。

(二) 成品率

成品率是指合格成品量的百分率。

$$\text{成品率} = \frac{\text{合格成品量}}{\text{抄造量}} \times 100(\%) \quad (2-3-4)$$

(三) 合格率

合格率指全部产品中合格成品的百分率。

$$\text{合格率} = \frac{\text{合格成品量}}{\text{全部产品量}} \times 100(\%) \quad (2-3-5)$$

合格成品量指符合质量标准的合格产品量,全部产品量包括合格成品、副品、等外品、小裁纸。

几种主要纸张“三率”的示例如表 2-3-3。

四、长网造纸机

长网造纸机是目前用得最广泛的一种造纸机,可以生产绝大多数品种的纸张和纸板,小型的长网造纸机(如 I 系列造纸机)和抄薄型纸的长网造纸机(如 II C 系列的造纸机),每天产品只有几吨,而最大型的长网造纸机的日产量则在 600 吨以上,因而适用于各种

表 2-3-3

几种主要纸张品种的“三率”

品 种	抄 造 率 (%)	成 品 率 (%)	合 格 率 (%)
新 闻 纸	97	92~94	97
凸 版 印 刷 纸	97	90~92	95
书 写 纸	97	91~93	96
有 光 纸	97	92~94	97
纸 袋 纸	95~98	92~94	97
电 容 器 纸	—	70~80	—
低 压 电 缆 纸	95	90	—
卷 烟 纸	90~96	85~90	—
描 图 纸	90~96	85~90	—
草 纸 板	98	97	—
白 纸 板	98	93	—

规模和类型的造纸厂。

图 2-3-1 所示的是 ZW 4 型长网多缸文化纸机的示意图。

这台造纸机适用于以木浆、草类浆、竹浆等为主要原料，抄造表面施胶纸及其他优质文化用纸。整台造纸机，是一种连续工作的联动机，由湿部和干部组成，湿部由流浆箱、网案部和压榨部组成；干部由干燥部、压光机和卷纸机组成。

由净化筛选系统送来的纸料悬浮液，通过进浆管道送到流浆箱 1，然后在流浆箱的堰板喷到网案部胸辊 2 中心线附近的网面上网。流浆箱的作用是保证纸料沿着造纸机全宽上网的均匀、稳定出浆速度，没有横流串动和大涡流的现象；并且使上网的纸料，是均匀分布的纤维悬浮液，没有絮聚的现象，为在网上形成均匀的湿纸页创造必要的条件。图 2-3-1 所示的纸机采用敞开式压力流浆箱，由木制翻浆箱和衬不锈钢板铸铁喷浆箱组成，上下唇板均由不锈钢制成，喷浆口高度借上唇板通过手轮丝杆可作全幅或局部的调节，在流浆箱内设有隔板和一只 $\phi 125.5$ 毫米的匀浆辊，作为匀浆元件。

喷到网上的纸料在网案形成纸页，并脱去大部份的水分（网部脱水量多达总脱水量的 95~98%）。在脱水的过程中，先由案辊 4，再经真空箱 5 和真空伏辊 6 脱水，把纸页的干度提高到 20% 左右，送到压榨部。案辊脱出的高浓白水送到白水池作冲浆之用。网 7 是由各个辊筒支持，并由真空伏辊带动而迴转，以完成连续形成纸页和输送湿纸页的任务。为了改善纸页的匀度，网部设有摇振装置，并设有悬臂式机械换网装置，以减轻换网的劳动强度和换网的速度。

送到压榨部的纸页，经过四道压榨（二道正压榨 10、11，一道反压榨 12、一道光泽压榨 13），利用机械的作用，对纸页进行进一步的脱水，并改善纸页的性质（尤其是紧度和表面性质）。每组压榨由上、下压辊和各种毛毯辊组成，为了改善脱水，提高纸页的干度，一至三道压榨都采用沟纹压榨。为了加强对第一道压榨毛毯的洗涤，设有毛毯挤水压榨和真空辊。毛毯 9 则作为运输带，承运湿纸页并保证湿纸页有较高的脱水效率。通过压榨后，纸页的干度可达到 30~40%。

纸页通过压榨部机械脱水后，就必须在干燥部用热能进行进一步的脱水，以达到成纸干度（93%）的要求和纸张的质量要求。这台造纸机的干燥部，由 19 只 $\phi 1250$ 毫米

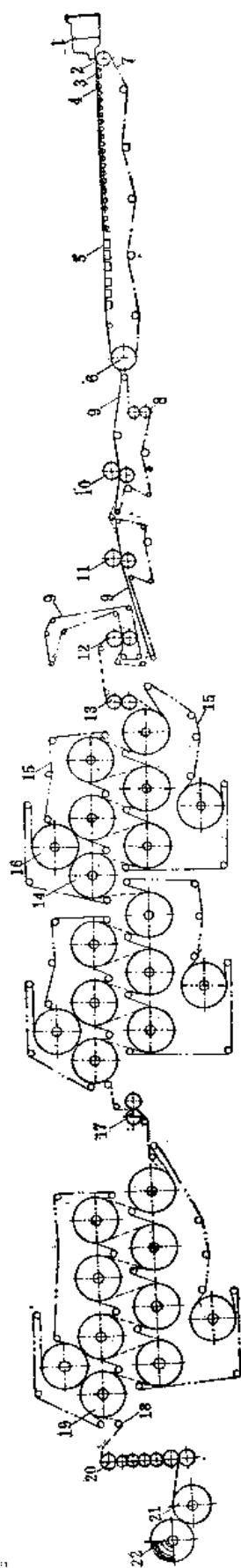


图 2-3-1 ZW 4 型长网多缸文化纸机示意图

- 1—敞开式流浆箱 2—胸辊 3—成形板 4—案辊 5—真空箱 6—真空伏辊 7—铜网
8—毛毯压榨 9—毛毯 10—第一道压榨 11—第二道压榨 12—反压榨 13—光泽压
榨 14—烘缸 15—干布 16—干布缸 17—表面施胶机 18—弹黄辊 19—冷缸 20—
压光机 21—卷纸机 22—纸卷

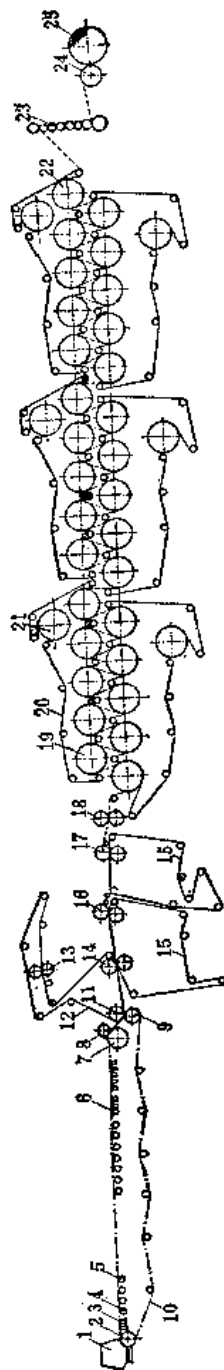


图 2-3-2 ZW 10 型长网多缸文化纸机示意图

- 1—封闭式流浆箱 2—胸辊 3—成形板 4—沟纹案辊 5—案辊 6—真空箱 7—
真空伏辊 8—上伏辊 9—驱动辊 10—网 11—真空引纸辊 12—上毛毯 13—毛毯
洗涤压榨 14—造纸压榨 15—毛毯 16—第一道压榨 17—第二道压榨 18—光泽压
榨 19—干纸缸 20—干布 21—干布缸 22—冷缸 23—压光机 24—卷纸机 25—
纸卷

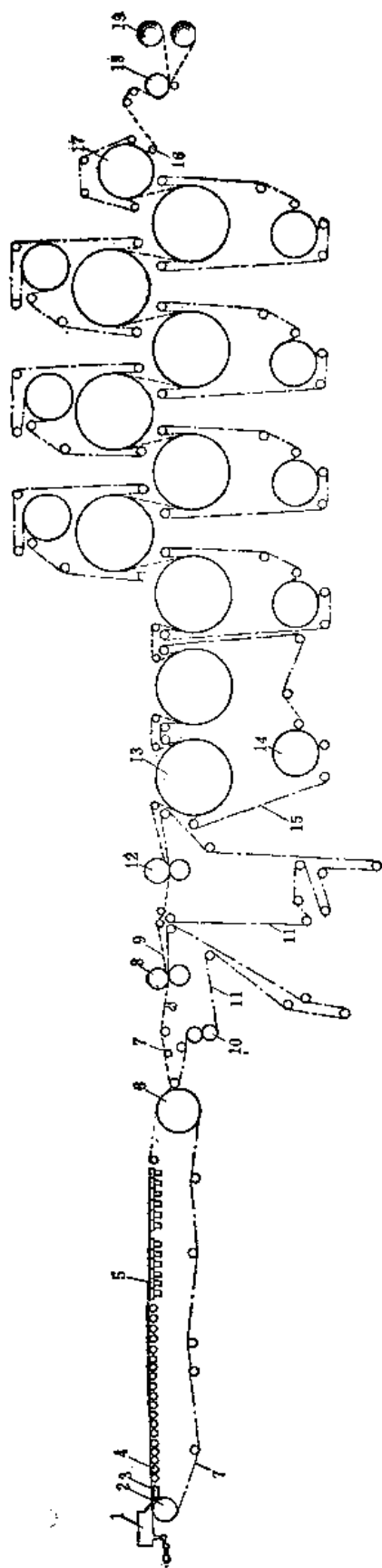


图 2-3-3 ZR 1 型长网多缸电容器纸机示意图

1—敞开式流浆箱 2—胸辊 3—成形板 4—索辊 5—真空箱 6—真空伏辊 7—毛毯
真空箱 8—第一道压榨 9—纸页 10—毛毯洗涤压榨 11—毛毯 12—第二道压榨
13—干纸缸 14—干布缸 15—干布 16—弹簧辊 17—冷缸 18—纵切机 19—轴式
卷纸机

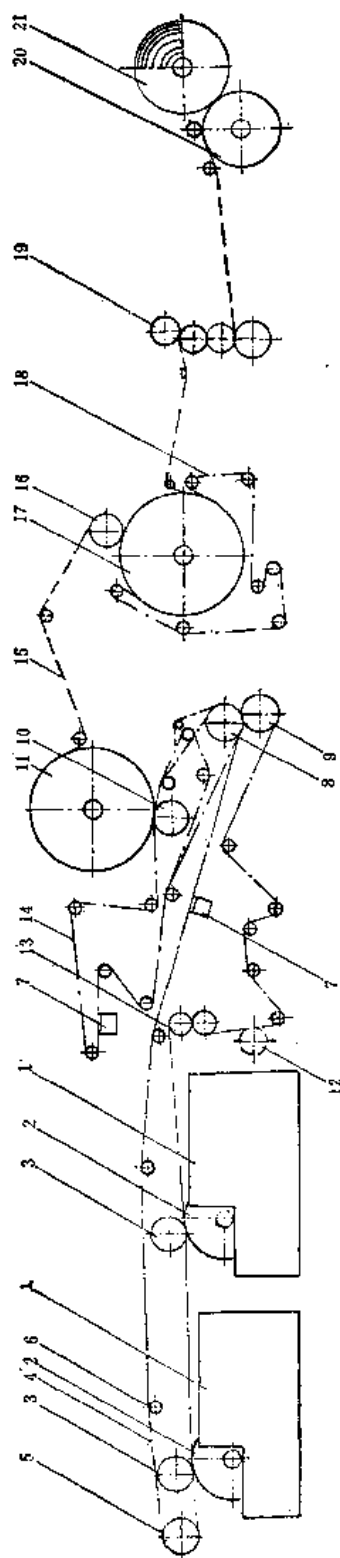


图 2-3-4 ZV 4 型双圆网双缸造纸机示意图

1—活动弧形板网槽 2—网笼 3—伏辊 4—下毛毯 5—回头辊 6—导辊 7—毛毯
真空箱 8—压榨上辊 9—压榨下辊 10—托辊 11—第一烘缸 12—门毯辊 13—毛
毯挤水辊 14—上毛毯 15—纸页 16—压光辊 17—第二烘缸 18—干毯 19—三辊
压光机 20—圆筒卷纸机 21—纸卷

的干纸缸 14、一只 $\phi 1250$ 毫米的冷缸 19 和六只 $\phi 1250$ 毫米的干布缸 16 组成。干燥过程中，烘缸内通入蒸汽，使烘缸表面达到一定的温度，以蒸发纸张所含的水分。烘缸分为三组传动。在第二和第三组烘缸之间有一台水平式表面施胶机 17，作为生产高级文化用纸时表面施胶之用。干燥后经七辊压光机 20 压光，以提高纸张的平滑度，然后在卷纸机 21 连续卷成纸卷 22。

图 2-3-2 所示的是 ZW 10 型长网多缸文化纸机示意图。

为了适应车速比较高（330 米/分以上）的情况下抄造的要求，ZW 10 型长网多缸文化纸机采用了封闭（气垫）式流浆箱、真空引纸和双闭环可控硅调速的多电机传动等装置。

图 2-3-3 是 ZR 1 型长网多缸电容器纸机示意图：

为了适应高粘状浆在抄造薄纸过程中滤水困难和在干燥过程中总横缩率及纵向伸长均较大的情况，ZR 1 型长网多缸电容器纸机，采用较长的网案（10.6 米），并且除一号、二号干纸缸为一组传动外，其他各个烘缸均单独成为一组传动。此外，根据电容器纸的特点，没有使用压光机。成纸经纵切机纵切为两卷后，用轴式卷纸机卷纸。

五、圆网造纸机

圆网造纸机是一种我国使用得最多的造纸机。一般的圆网造纸机（如单圆网单缸造纸机、双圆网双缸造纸机）具有结构简单、占地面积小、耗用钢材少、投资省、上马容易、操作维护简便等优点，因此，成为我国小型造纸厂的主要设备。目前，圆网机在我国的造纸机机台中，占有较大的比重。

由于所制的纸张不同，在圆网的设置上也有所不同。例如，抄造一般的有光纸、薄页纸、邮封纸、火柴纸等种类的较薄的纸张，采用一个圆网，习惯上叫单网；抄一般印刷纸（如凸版印刷纸）、书写纸可以用两个圆网，习惯叫双网；抄造定量高的纸板，尤其是表面、里面、底面使用不同浆料的纸板（如白纸板），多采用三个以上的圆网，习惯上叫做多圆网；同时，由于圆网造纸机的干燥部，有采用一个烘缸的，也有采用二个烘缸和多个烘缸的，为了更全面的划分种类，因而又有单圆网单缸、双圆网双缸、多圆网多缸造纸机之分。

图 2-3-4 所示的是 ZV 4 型双圆网双缸造纸机示意图。

这台造纸机可以用于抄造定量为 $52 \sim 80$ 克/米² 的凸版印刷纸、普通书写纸等种类的纸张。整台造纸机，是一种连续工作的联动机，由净化系统送来的纤维悬浮液，通过送浆管道，进入活动弧形板网槽 1，由于网笼 2 转动，湿纸页就在铜网上形成，下毛毯 4 由压榨下辊 9 带动，使毛毯带动网部，因而毛毯必须具有很強的拉力。毛毯是无端循环转动的。当毛毯进入网部时，由于伏辊 3 与网间的压力，使湿纸页部分脱水后，因为毛毯表面比铜网平整，因而湿纸页被毛毯吸附而揭起，由网部传递到毛毯上。毛毯继续往前运行，经过第二个网时，把第二个网形成的湿纸页互相粘叠，并吸附在毛毯上，湿纸页的形成就告完成。然后在回头辊 5 处，毛毯托着湿纸页改变运转的方向，再通过毛毯真空箱 7 进一步脱水后，就送到由压榨上辊 8 和压榨下辊 9 组成的压榨部压榨脱水。通过压榨部脱水后，由于上毛毯 14 表面比下毛毯细致，比表面积较大，因而湿纸页跟

着毛毯走，被带到第一烘缸 11，经过托辊 10 挤压，再度脱水，纸页便贴向烘缸表面，上毛毯也可不经上压榨辊，纸页经压榨后，粘附在上压榨辊的表面上，再引到上毛毯。纸页在第一烘缸经加热干燥到干度 75% 左右后，从第一烘缸剥离传递到第二烘缸 17，经过压光辊 16 压光，在第二烘缸干燥到成纸干度（一般 93%），再经三辊压光机 19 压光，以提高纸页的平滑度，然后在卷纸机 20 连续卷成纸卷 21。多数圆网机目前还没有配备压光机。

圆网造纸机由于受到结构原理的限制，在车速较高时，容易出现成纸的匀度差、纸张两面差较大、纵横向物理强度差异大、纸病较多等问题，这些就限制了圆网造纸机车速进一步提高，给进一步提高产量、质量、扩大品种带来了一定的困难。目前双圆网双缸造纸机抄造凸版印刷纸，车速已达到了 120 米/分；国外采用高速真空圆网抄造薄纸，最高车速已达到 900 米/分或更高。

第二节 纸料的净化、筛选和除气

一、纸料的净化和筛选

（一）纸料净化和筛选的目的和作用

造纸机前纸料净化和筛选的目的和作用是：

- （1）除去纸料中的尘埃和杂质。
- （2）将纸料均匀分散，制成均匀分散的纤维悬浮液。

纸料中的尘埃和杂质可以分为纤维性尘埃、非金属性尘埃和金属性尘埃三大类。纤维性尘埃主要包括：由于备料除尘不干净、蒸煮不均匀、加上筛选不干净，而带来苇膜、谷壳、黄筋、未蒸解物等尘埃；打浆和损纸处理过程中，未能充分分散的纤维束和碎纸片；在纸浆输送、贮存和处理过程缠结而成的浆团。非金属性尘埃主要包括：原料贮存和运输过程中、混浊的生产用水中和生产设备（如磨木机的磨石与圆柱精浆机等打浆设备的石刀等）在生产过程中磨耗所带来的砂粒和泥土，以及混入原材料和生产过程的煤灰和炭粒等杂质。金属性尘埃主要是从生产设备（如精浆机与打浆机的刀片、盘磨机的金属磨盘）磨耗和管道、贮存运输设备的铁锈所带来的铁屑、铜末。

纸料中含有尘埃、杂质，不但对纸张的质量，而且对造纸机的生产，均有不良的影响。例如，尘埃、杂质含量较高的纸料抄出来的纸张，不但尘埃度高，而且，某些粗碎片所造成的薄弱环节会显著的增加高速轮转印刷时纸张断头的次数，纸张中的砂粒，在印刷过程中，还会磨损印刷版，这些都严重的影响纸张的使用性能；纸料中含有砂粒等杂质还能够增加铜网、真空箱箱面和刮水板、压榨辊、压光辊的磨损，降低它们的使用寿命；纸料中的脏浆团等，还能造成抄纸过程中粘边断头等问题，影响生产的正常进行。由此可见，除去纸料中的尘埃、杂质对于提高纸张的质量和保证造纸机的正常生产，是非常必要的。

（二）纸料净化和筛选设备

如前所述，纸料中含有各种各样的尘埃和杂质，这尘埃和杂质不论在形态上、比重上、性质上都是不相同的，有的重而粗、有的轻而粗、有的细而重等等。到目前为止还

没有一种设备能够把全部的尘埃和杂质除去而保留全部的好纤维，每一种设备，都只具有比较有效的除去某些形态的尘埃和杂质的特点，在这些设备中，利用比重不同从纸料中除去泥砂等杂质的设备，称为净化设备（如锥形除渣器）；而利用形状大小的差异从纸料中除去浆团、纤维束等杂质的设备，称为筛选设备（如旋翼筛）。在一般情况下，为了得到较好的净化和筛选效果，这两类设备是结合起来使用的。

在一般情况下，通过净化和筛选设备处理后出来的良浆，还残留有一些尘埃和杂质，而排出来的粗渣又往往混有一些好纤维，其分离的效果与设备的效率有关，效率越高的设备，分离的效果也越好。因此，在选用净化、筛选设备时，应选用效率较高、同时重量较轻、占地面积较小、密封性较好的设备。根据上述的要求，目前在造纸机前的净化筛选系统已普遍采用锥形除渣器和各种类型的旋翼筛。外流振鼓圆筛、内流振槽圆筛、振膜式平筛等筛选设备，由于效率较低、设备重量较大、占地面积较大、又是开启式的，因而，除极少数使用长纤维，或使用破布浆的造纸机前的净化筛选系统还使用外，一般已不使用了。

各种净化设备和筛选设备的构造及工作原理，详见第一篇第六章。

（三）纸料净化与筛选的流程和工艺

在前段已指出，目前在造纸机前的净化和筛选系统已普遍的使用锥形除渣器和旋翼筛。图 2-3-5 所示的是在造纸机前使用三段 606 除渣器和旋翼筛的比较典型的流程。

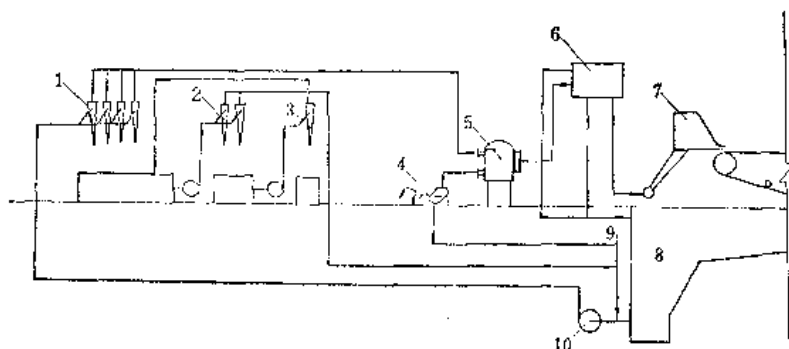


图 2-3-5 造纸机前的净化和筛选系统

1—一段 606 型除渣器 2—二段 606 型除渣器 3—三段 606 型除渣器 4—高频振框平筛 5—旋翼筛 6—稳浆箱 7—流浆箱 8—网下白水池 9—由高位箱来浆 10—混合泵

这个流程的特点，是纸料先通过锥形除渣器组净化后，再通过旋翼筛筛选，因为净化和筛选的效果比较好，不但除渣效率高，而且有稳定浆流和分散纤维的作用，并可以减轻旋翼的负荷，保护筛板不受杂质砂粒损坏。因而比较多的造纸机净化筛选流程，采用了这种方案，在设计时应根据造纸机的生产规模、纸张的品种和质量要求、纸料的性质等因素，考虑下列的几个问题：

1. 锥形除渣器的选型和排列组合

根据生产实践和选型试验的结果，一般的规律是型号大的能量也大（例如在一般情况下 606 型锥形除渣器的进浆量为 380 升/分，而 600 型锥形除渣器的进浆量只有 75 升/分），排渣率小，渣中含纤维量小，动力消耗小，但净化效率也较低；型号小的能力小，排渣率大，渣中含纤维率高，动力消耗较大（如 600 型的动力消耗就比 606 型的大

50%)，但净化率特别是对小尘埃的净化率也较高。因而，除生产某些高级薄纸（如电容器纸、复写原纸等）和最末一段，使用 600 型锥形除渣器外，一般多使用 606 型锥形除渣器。

锥形除渣器在一般情况下，是不单台使用的，而是若干台组合起来使用。锥形除渣器的排列和组合的中心问题，也就是“分段”和“分级”的问题。多段排列是为了减少流失，降低排出浆渣中的好纤维含量，多级排列则是为了进一步提高良浆的质量。从生产实践的情况看到，采用多级处理可以提高纸料的质量，但动力的消耗成倍增加。因而，从质量要求和经济合理等因素来综合考虑，造纸机前的净化系统，普通以采用一级处理为宜。进行多段处理，可以适当减少纤维流失，但每增加一段就要增加一段的动力消耗。因而在一般情况下，多采用三段。在锥形除渣器排渣口装上捕渣器，可以减少排渣量和提高浆渣中尘埃及杂质含量的百分率，减少纤维的百分率，从而减少纤维的流失，并可以减少段数。

2. 旋翼筛的选型和筛板开孔

用于纸料筛选的旋翼筛，有内流式（旋翼在筛板外的进浆侧）、外流式（旋翼在筛板内的进浆侧）、内流和外流的双鼓式（旋翼在进浆侧）和内流式（旋翼在筛板内的良浆排出侧）等四种类型。目前，我国主要是使用外流式旋翼筛，这种旋翼筛存在的问题，是旋翼迴转产生的离心力，能够把较重的颗粒压向筛板，因而有时（尤其在纸料较脏时）会出现堵塞筛板等问题，从而降低筛选的效率。因而与外流式旋翼筛相比较，内流式旋翼筛具有较好的筛选效果，尤其是旋翼在筛板内的良浆排出侧的旋翼筛。这种旋翼筛，是由位于良浆排出侧的旋翼产生的压力波，使筛孔或筛缝的良浆出口的一侧的堵塞得到清除，由于旋翼不接触粗渣杂质，因而既不会把粗渣杂质颗粒打碎成更细的屑末，也不会把它们推入筛孔或筛缝中，这就允许采用很细的筛孔或筛缝，从而使这种旋翼筛，能够得到甚至超过普通开启式筛浆机（如内流振槽圆筛）所得到的较高的筛选质量。

目前，大多数的旋翼筛，采用筛孔筛板，筛孔直径通常为 1~3.2 毫米。表 2-3-4 所示的是几种有代表性的纸张选用外流式旋翼筛作为纸料筛选设备时所使用的筛孔直径示例。

表 2-3-4 几种有代表性的纸张选用的筛孔直径

纸 张 品 种	薄 页 纸 (卷烟纸、打字纸)	凸板印刷纸 书 写 纸	新 闻 纸	包 装 纸 (纸袋纸、牛皮纸)	纸 板 (草纸板)
筛孔直径(毫米)	1.0~1.2	1.2~1.6	1.4~1.6	2.0~2.8	2.8~3.2

目前，大多数的旋翼筛采用筛孔，但最近国外也有的旋翼筛采用筛缝，根据排除杂质的要求，对大、平、片状的杂质和长而薄的纤维屑，如薄片、聚乙烯、金属丝和纤维束等来说，用筛孔较为有效。而对于硬塑料、橡胶、油墨球、树皮和很细的轻质颗粒等，则筛缝较为有效。因而筛缝可用于低级废纸、破布浆等杂质含量多的纸料的筛选。使用筛缝旋翼筛时，要配备一些起保护作用的设备，并且筛板的生产能力也较低，因而

筛缝旋翼筛的使用也比较困难。

为了保证旋翼筛充满和保持进入流浆箱的纸料流量和压头的稳定，并防止空气漏入，在旋翼筛的出口，最好设有稳浆箱。

3. 尽量减少净化和筛选损失

在保证纸料质量的前提下，应把净化和筛选的损失减到最低限度，一般总损失最多应控制在0.5%以下，对于粗渣也要合理处理，加以利用。锥形除渣器采用三段排列，或装上捕渣器就是为了达到这个目的。至于旋翼筛，则应根据不同的排渣方式作不同的处理，如果是连续排渣，浆渣量比较高（一段是5~10%），排出的浆渣中好纤维较多，因而要使用二级筛回收好纤维，一般使用高频振框平筛作为二级筛，二级筛筛出的良浆，回纸机前净化和筛选系统处理，而粗渣则排出，作抄造低级纸或纸板之用。如果是间歇排渣（每班排2~3次），由于浆渣量甚少，因而不必再经二级筛回收处理，而直接排出。一般生产能力较大的造纸机，多用连续排渣的方案，而生产能力小的造纸机，则主要用间歇排渣的方案。合理的办法是采用电子定时排渣装置。

影响净化和筛选系统的主要工艺因素有各部分的压力、浓度和排渣量等。

(1) 各部分的压力

根据生产实践的情况表明，锥形除渣器进出口压力差以 $2.75\sim 2.94\times 10^5$ 牛顿/米²（2.8~3.0公斤/厘米²）左右比较适宜，压力差过高，并不能较显著地提高净化效率，但动力消耗增加很多；而压力差过小则显著的降低净化的效果。至于旋翼筛，一般认为，进浆压力的大小，对筛选操作的正常进行，以及除渣效率影响不大，因此，进浆压力的大小，应根据生产流程的需要来决定。旋翼筛筛鼓内外压力差，对除渣效率有直接的影响，筛鼓内外压力差过大[如 1.96×10^4 牛顿/米²（0.2公斤/厘米²）以上或更大]，虽有利于增加通过量，但通过筛孔的筛渣增加，从而影响筛选的效果，因而旋翼筛筛鼓内外压力差以 $0.98\sim 1.96\times 10^4$ 牛顿/米²（0.1~0.2公斤/厘米²）较为合适。因此，如果采用纸料先通过锥形除渣器，再通过旋翼筛的筛选流程，锥形除渣器进浆压力以 $2.94\sim 3.43\times 10^5$ 牛顿/米²（3.0~3.5公斤/厘米²）为宜，出浆口压力以 $2.94\sim 4.90\times 10^4$ 牛顿/米²（0.3~0.5公斤/厘米²）为较合适，这样进入旋翼筛的进浆压力有 $2.94\sim 4.90\times 10^4$ 牛顿/米²（0.3~0.5公斤/厘米²），通过旋翼筛之后，尚有 $0.98\sim 2.94\times 10^4$ 牛顿/米²（0.1~0.3公斤/厘米²）的压力，可以把纸料送到稳浆箱或流浆箱。

(2) 纸料浓度

在一般情况下，用于长网造纸机前的净化筛选系统，处理纸料时的浓度大体上与造纸机的上网浓度相同，一般在0.3~1.0%之间，随纸张的品种和造纸机的工艺和设备条件的不同而异。对于圆网造纸机，由于上网浓度低（一般在0.1~0.3%之间），为了保证处理纸料的能力，一般在调量箱将纸料稀释至0.5~0.6%，经过净化筛选系统处理后，再在稳浆箱用回浆或白水稀释至上网浓度。

二、纸料的除气

(一) 纸料中空气的来源和存在形式

纸料中的空气以两种状态存在：一种是游离状态的空气泡，一种是结合状态的空

气。其存在的状态及其对纸料性质的影响，如表 2-3-5 所示。

表 2-3-5

空气存在的状态及对纸料性质的影响

空气存在状态	对纸料性质的影响
游离状态空气泡，存在于纤维与纤维之间或附着在纤维之上，也有存在于纤维的细胞腔中	游离状态的空气泡，能够改变纤维的比重和纸料的可压缩性、脱水性。存在于纤维与纤维之间，或附着于纤维之上的空气泡，是生成泡沫的主要原因。而存在于纤维细胞腔中的空气泡，能使纤维的比重减轻，是成为浮浆的主要原因，一般存在于纤维细胞腔中的空气只有 0~0.5%，当含量超过 0.25% 时，纤维会浮起
结合状态的空气，常以两种状态出现，一为溶解于水的空气，另一种为吸附在纤维上的空气	结合状态的空气泡，对纸料性质影响不大，除非纤维吸附 CO ₂ ，改变了纤维的极性而造成絮聚

游离状态的空气泡和结合状态的空气，是可以互相转化的。例如当压力、温度和环境发生变化时，结合状态的空气可以转变为游离状态的空气。

造纸过程中，一些不适当的机械处理和其他一些因素，能够增加引入纸料中的空气量，并且由于气体在液体中的稳定分散的界面关系，而使得空气保留在纸料中。例如，浆泵漏气；输送管和白水管将浆料和白水高高的喷下到贮浆池、白水池、浆槽、白水槽；白水回收的细小纤维；使用干浆板时浆板湿润不完全；不适当的搅拌等因素都能带进空气。

（二）除气的必要性

纸料中的空气（尤其是游离状态的空气）对于造纸机的抄造过程和纸张的质量，均有不良的影响。空气能够影响纸料的流动状态，并对纸页的形成、脱水和抄造性能有所影响，据报导，除气纸料能够提高脱水率 10~30%，其原因是由于空气泡能够堵塞湿纸页中的孔隙，从而阻碍脱水。有的试验指出，纸料中含有 2.5% 的空气，能够降低浆泵的容量 16%。空气又是形成泡沫的主要原因。因此，除去纸料中的空气，对于车速比较高的造纸机是很重要的。

（三）除气的方法

为了使纸料中的空气所造成的影响，减到最低限度，可以采用下列的两个基本的途径：

（1）在造纸车间的设计和操作过程中，应尽量防止空气的混入和空气泡的生成，并及时地排除系统中的空气。例如，应注意泵、管道、磨浆设备、筛浆设备的密封；对管道和设备（如旋翼筛的顶部）所积聚的空气要及时排除；浆管和白水管的出口要插到纸料和白水的液面之下等。在设计白水盆和网下白水池时，应考虑到在白水进入冲浆泵之前，能够将尽可能多的空气排出的问题。

（2）使用机械或化学的方法除去纸料中的空气。

使用机械的方法除气的装置有离心除气器和除气器几种类型。除气器的工作原理都是基于真空和物理力结合起来的作用，而把纸料中的空气泡破坏和除去。这种方法除气的效率比较高，脱气率可以达到 80~85% 以上。

化学除气，是应用物理化学的技术除去纸料中的空气。这个方法是将添加剂加入到纸料和白水中，这些添加剂进入气泡的膜，并取代气泡膜中能够稳定泡沫的表面活性物质，从而降低泡沫的弹性和稳定性，然后当小的气泡破裂时，它们就比较容易合并成为

比较大的气泡,由于气泡的浮力是与气泡直径的平方成正比,因而大的气泡能比较快的上升到纸料或白水的表面,从而就能把气体除去。所以,使用的添加物必须是对纤维没有亲和力,或亲和力很低的物质,以降低小气泡粘附在纤维表面上的可能。据报导,纸料中75~80%的气泡,可以用化学的方法除去。例如,一台抄造瓦楞芯纸的造纸机,使用非离子型聚硅酮作为化学除气的添加物,添加物的浓度为25 ppm(在流浆箱的浓度),由于使用了化学除气剂,纸料中空气的体积由2.4%降至0.6%,造纸机车速提高9%。化学除气还具有不用改变原来的流程和设备、节省投资等优点。

第三节 造 纸 机

一、纸料的流送和上网

(一) 纸料的流体特性及其对流送和上网的影响

在造纸过程中,从造纸车间接受制浆车间送来的液体纸浆开始,至造纸机网部形成湿纸页为止,所处理的纸料都是以纤维悬浮液的状态存在的,因而纸料悬浮液的流体特性,对于这一个过程中的每一个操作单元(如纸料的输送、精浆、净化和筛选、浓度的测定与调节、上网前的流送和纸页的形成等),以至造纸机的抄造性能和纸张的性质,均有重大的影响。因此,研究纸料的流体特性,就具有重要的意义。

1. 纸料悬浮液的流动机理

在一般情况下,纸料悬浮液中有固相的纤维、填料、胶粒等物质,液相的水(包括溶于水的化学添加物)和气相的空气,因而是一种三相同时存在的复杂的分散体系。因此,纸料的流动特性与水是有所区别的,而且随着纸料本身的性质和浓度、流速等因素的不同,其流动特性也有所变化。在临界浓度(约为0.05%左右,例如造纸机的低浓白水)以下时,由于纤维与纤维之间的相互作用很小,而能够自由的运动,因而其流动状态与水大体相同。在临界浓度以上时,由于纤维浓度的提高,纤维与纤维的机械交缠作用使纤维互相碰撞并形成絮聚物,这些絮聚物在纸料浓度较低和流动速度较大时,活动是比较容易的。但在较高的浓度(通常在0.25%以上)和较低的流动速度时,絮聚物可以互相联结形成纤维网状物,使纸料悬浮液具有纤维网状物的性质。所谓纤维网状物的性质,是指纸料悬浮液也和固体一样,可以测出其强度、弹性、伸长率和剪切力。从而使其流动特性与水的流动特性有较明显的区别,浓度越高,区别也越大。

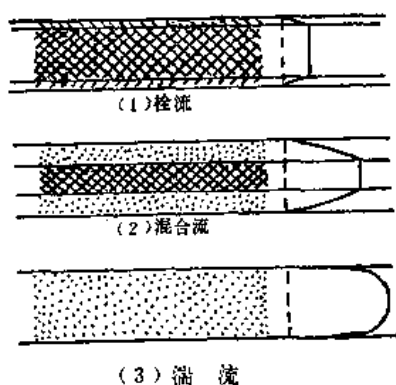


图 2-3-6 纸料的三种流动状况

以互相联结形成纤维网状物,使纸料悬浮液具有纤维网状物的性质。所谓纤维网状物的性质,是指纸料悬浮液也和固体一样,可以测出其强度、弹性、伸长率和剪切力。从而使其流动特性与水的流动特性有较明显的区别,浓度越高,区别也越大。

(1) 纸料悬浮液的流动特性:

① 纸料悬浮液的流动状态:如前所述,在临界浓度以上的纸料悬浮液,具有纤维网状物的性质,因而其流动状态与水就有比较明显的区别。

随着纸料流速的不同,可以分为栓流、混合流和

湍流等三种基本的流动状态,如图 2-3-6 所示。

在纸料流速较低的情况下,由于流体流动的剪切力尚不足以克服纤维缠结的内摩擦

力,因而纸料以整体而流动,形成一栓塞状的流动状态,在其中无速度梯度,只是在纤维与管壁之间有一个水环,这种流动状态就称为栓流,如图 2-3-6(1) 所示。当流速加快时,在靠管壁的部分出现了湍流的状态,但靠中间的部分还保持栓流的状态,这时称为混合流,如图 2-3-6(2) 所示。随着速度的进一步提高,湍流部分不断的扩大,直到一定的速度时全部变为湍流,如图 2-3-6(3) 所示。在一般情况下,由栓流变为混合流和由混合流变为湍流的转折点,所需的纸料流动速度则与纸料的浓度和性质(纸浆的种类、硬度、打浆的程度等)有关。纸料的浓度越高,出现转折点时所需的速度也越高,当纸料的浓度很高时,即使流动的速度比较大,但由于纤维网状物内部的阻力,因而流速尚不足于造成局部的湍流,这时就会出现栓流向中心线逐步发生龟裂,而生成很多同心圆的栓流层。

② 纸料悬浮液的流动曲线(摩擦曲线): 纸料悬浮液的流动曲线(摩擦曲线)是指纸料悬浮液的流动速度和流动过程中的摩擦损失(或摩擦因子)的相互关系的曲线。曲线以流速为横坐标,摩擦损失(或摩擦因子)为纵座标,采用对数绘制。纸料在流动过程中的摩擦损失,可以分为两种情况:一种是纸料与管壁之间的摩擦,称为管摩擦或表面摩擦;另一种是纸料本身纤维与纤维之间的摩擦,即流体摩擦或称内部摩擦。这些摩擦均能造成能量的损失,其摩擦损失随纸料流速、纸料的浓度的增加而增加,与纸料的性质也有密切的关系。

图 2-3-7 所示的是典型的化学木浆流动曲线。其中图 2-3-7(1),是表示流动速度

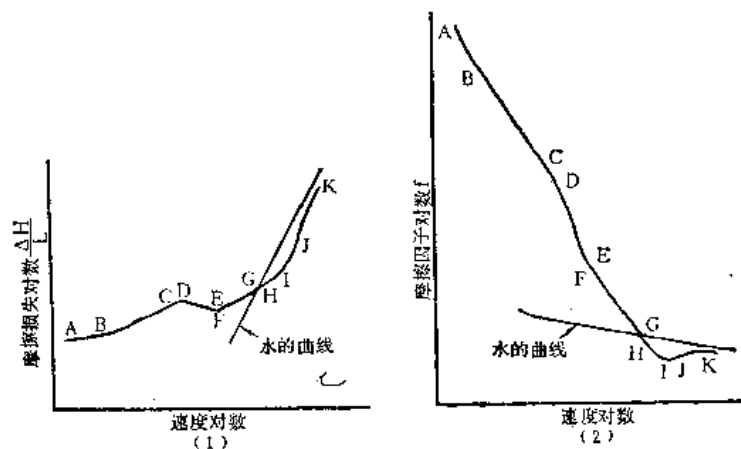


图 2-3-7 典型的化学木浆流动曲线

和摩擦损失的相互关系的曲线。而图 2-3-7(2)则是表示流动速度和摩擦因子的相互关系的曲线。

从图中可以看到,由于纸浆的流速对流动状态有较明显的影响,从而影响到在流动过程中的摩擦损失(或摩擦因子),因而曲线各段的斜率是不相同的。图中曲线的 AB 段是纤维形成的栓塞与管壁直接接触的栓流,这一段的特点是当速度增加时,压头损失变化甚小。但从实验的结果,发现在内壁粗糙的管子的摩擦损失大于内壁光滑的管子,这就证明了在低速度的 AB 段,栓塞与管壁是直接接触的。到曲线的 BC 段就出现了水力剪切力和栓塞与管壁相互作用结合在一起的栓流,这一段的特点是既有栓塞与管壁的直

接接触，也有部分地区形成了水膜，但这个水膜并不是连续的水膜，水膜的厚度是速度和浓度的函数，并且在这一段还发现由于流动速度的增加，在栓塞上凸出来的絮聚物因受到剪切力的作用而破裂，并在栓塞的表面和管壁之间滚动，这些絮聚物移动的速度略低于栓塞主体的移动速度。在曲线的G点，栓塞的周围形成了水环，停止了栓塞与管壁直接接触的相互作用，水环形成的原因，可能是由于流动剪切力造成内部网状物的变形，并使得栓塞表面凸出来的纤维和絮聚物发生偏转，这些运动就使得在栓塞和管壁之间可能形成连续的水环，提高纤维或网状物的柔软性(例如通过打浆、漂白)，能够在速度较低的情况下出现G点；反之如果增加管道的粗糙程度，就必须在速度较高的情况下才能出现G点。因此从G点开始，就出现具有连续水环的栓流，曲线的D正段就是这种

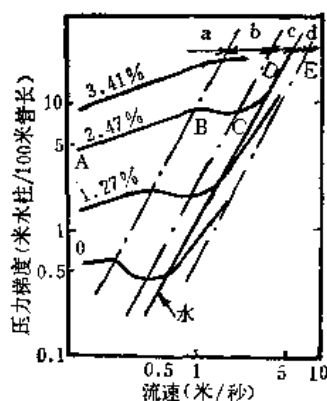


图 2-3-8 未打浆未漂硫酸盐法木浆流动曲线

未漂白的硫酸盐纸浆的流动曲线。

图中b区是具有连续水环的栓流，在这一区悬浮液中的所有固体是以几乎相同的速度运动的；在c区开始的时候，水环的流动由层流转变为湍流；到d区，栓塞逐渐消失，而湍动的水-纤维环不断扩大，基本上是由混合流逐步过渡到湍流。在d区纸浆流动的摩擦损失与水基本相等。

从图中的曲线和对亚硫酸盐木浆的流动状况的试验均表明：纸浆浓度越大，在栓流区摩擦损失就越大，而在湍流区摩擦损失，几乎与浓度关系不大。

纤维的物理结构和化学性质，对于纸料悬浮液的流动特性是有影响的，例如，增加纤维的长度、纤维的柔软性和纤维表面的粗糙程度，能够增加纤维的机械缠结，进而增加纤维网状物的强度，从而对纸料悬浮液的流动特性就有所影响。根据对机械木浆悬浮液流动特性的研究，认为机械木浆悬浮液除了具有网状物强度较低、转动絮聚物较小而造成在栓塞的表面有较大的骚动特点外，其他的特性与化学木浆悬浮液基本相似。

(2) 纸料悬浮液的流动机理对纸料流送和上网的影响：纸料悬浮液的流动机理，对纸料流送和上网有较明显的影响。根据一些研究的情况表明：纸料的流动状态对纸料悬浮液中纤维的分散是有影响的，在栓流区纤维易于絮聚，而在湍流区，则使纤维呈分散状态；纤维分散的程度，也即纤维分散指数，则与纸料的浓度和流速有密切的关系，分散指数是流速和浓度的函数。纸料浓度越高，要使纸料中的纤维达到同一的分散程度所需要的流速也越高；而在同一浓度的情况下，速度越大，分散程度也越好，达到一定的

流动状态。到曲线的E点，水环开始出现湍动，因而在曲线的EH段，在栓塞和管壁之间就形成了一个基本上没有纤维的湍动的水环，这个水环的厚度并在FH段得到迅速的增加。在曲线的G点，流动的阻力开始减少，到曲线的H点栓流开始瓦解，因而曲线的HJ段基本上是混合的流动，这一段的特点，是随着流动速度的增加，水-纤维环的湍动不断增加，栓塞的直径大大的减少。到曲线的JK段，就由混合流完全变为湍流了。

纸浆的浓度对纸浆在流动过程中的摩擦损失有较显著的影响。图 2-3-8 所示的是四种未打浆、

速度后就能达到纤维分散优良的条件。因此在设计流浆箱时,应根据纸料悬浮液的流动机理,合理的确定流浆箱各部分的流速,以提高流浆箱的效率。例如,在流浆箱的布浆器,纸料的流动状态以湍流比较适宜,这样有利于分散纤维,防止絮聚,因而一般用比较高的流速。如在布浆器的总管用 $1.5\sim 3$ 米/秒的流速,而通过布浆器的均布元件(如孔板、多管)时,还必须有 $1.5\sim 3$ 的加速比(加速比是指纸料通过均布元件时的速度与总管的速度的比值。例如,总管的流速为 2 米/秒,通过孔板的孔时的流速为 4 米/秒,则加速比为 2),也即达到 $2.5\sim 6$ 米/秒的流速。但要注意这个速度也不宜过高(例如有的认为不宜超过 6 米/秒),因为太高的速度,一方面对整流消能装置要求很高,不易控制;另一方面在达到能够使纤维优良分散的流速后,过高的速度也是不必要的。至于最适宜的流速,则应根据流浆箱使用的浓度范围,通过分散指数的试验来确定。至于在流浆箱的堰池部分,一般的敞开式流浆箱和一般采用匀浆辊作为整流元件的封闭流浆箱,多采用较低的流速,也即使纸料的流动处于栓流的状态,以保持比较平稳的流动,多数采用 $0.1\sim 0.3$ 米/秒的流速。最近随着流浆箱结构的发展和能够产生微湍动的高效率整流元件的出现,很多新型的流浆箱均采用较高的流速,以缩小流浆箱的体积,并适应高速造纸机的要求。

2. 纸料悬浮液的湍动和絮聚

在一般情况下,纸页是纸料悬浮液在网上脱水而形成的,由于通常采用的纸料上网浓度比临界浓度高得多,因而在纸料中纤维与纤维之间有高度的互相交缠的作用,使纤维容易絮聚,从而造成纸页结构不均匀的问题。然而,在纸料流送的过程中,合理的湍动又有助于分散纤维、减少絮聚、改善匀度。因此,研究纸料悬浮液在流送过程中湍动与絮聚的关系,以及其对纸页匀度的影响,就具有重要的意义。

(1) 纸料悬浮液的湍动:

① 湍动和微湍动的概念:湍动是指当流体的雷诺数超过一定的数值时,流体的流动状态就成为湍流,这时流道内的每一个质点都有不规则的、杂乱无章的运动,这样流团在流体内作不规则的流动就称为湍动。

微湍动是指规模很小的湍动。当湍动的规模很小,甚至达到“纤维规模”(即湍动的规模小于单根纤维的长度)的程度,但强度又很高,因而流团间的剪切力作用于每根纤维,使它们混杂着各点的速度和压力,从而使整个纸料悬浮液各点的物理量迅速趋向均匀,这就是所谓微湍动流型。

② 湍动的表现形式和特点:从纸料流的表面状况和涡流的情况可以直接地反映纸料流中湍动的情况和规模,涡流的大小往往是湍动规模的反映,而从造纸机流浆箱喷到网案的上网段的纸料流的表面状况也可以反映出湍动的规模。小规模湍动(或微湍动)能造成纸料流表面有小的不均匀,而大规模的湍动则能造成纸料流表面较显著的不均匀。例如,满流式流浆箱(如阶梯扩散器流浆箱,这类流浆箱主要产生微湍动)喷射到网案上网段的纸料流,就具有精细的斑点的表面,而一般造纸机流浆箱,能够产生较大规模的湍动,喷射到网案上网段的纸料流,则出现条纹状浆流和波动,甚至跳浆等现象。

湍动具有生存期很短的特点,其衰变速度在很大程度上取决于湍动的规模和大小,小的湍动比大的湍动分散得比较快,纸料流送和纸页形成过程中的有效湍动生存期,通

常是用毫秒或几分之一毫秒来测定的。

(2) 纸料悬浮液的絮聚：由于造纸过程中纸料上网浓度(长网造纸机一般为0.3~0.9%，圆网造纸机一般为0.1~0.3%)都比临界浓度(0.05%)高得多，因而纤维没有足够的转动空间而产生纤维与纤维间碰撞的现象，使纤维与纤维互相交缠而造成絮聚。纸料的浓度越大时，碰撞的频率也越大，絮聚的可能性也越大。

除了浓度对纸料悬浮液的絮聚有较明显的影响外，纤维的特性、流体的特性、化学添加剂的加入等因素，对絮聚也有影响。例如，打浆程度较高的纸料，由于纤维润胀，细纤维化程度较高，游离出更多的羟基，吸附更多的水分子，从而形成较厚的水分子层，因而比打浆程度低的纤维不易于絮聚。长纤维的棉浆、麻浆、化学木浆比机械木浆、甘蔗渣浆、苇浆、稻草浆等短纤维纸浆易于絮聚。

(3) 湍动与絮聚的关系：湍动与絮聚有密切的关系，在一定的条件下(例如湍动的强度较大，湍动的规模较小)，湍动能够分散纤维的絮聚物。但是如果湍动的强度很低，絮聚物的内在强度就足以阻碍湍动的作用，而使絮聚物不分散；当湍动的规模很大时(例如表现为比较大规模的涡流的湍动)，又能够完整无损的将絮聚物存在于大涡流之中，这些都不利于絮聚物的分散。

有一点值得特别注意的是，湍动与絮聚有一定的平衡关系，湍动不仅能够分解纤维絮聚物，而且还能够产生纤维絮聚物。因此，在一般造纸机上网浓度的纤维悬浮液中，永远都会有絮聚物的存在。至于絮聚的程度则取决于湍动和絮聚的平衡关系。因而，必须采取措施控制这个平衡关系向有利于分散絮聚物的方向发展，例如，增加湍动的强度和降低湍动的规模，均有利于降低絮聚的程度。

从理论上讲，为了更好的分散纸料悬浮液中的纤维絮聚物，湍动必须作用于每根单纤维。为了达到这个要求，湍动的规模必须小于纤维的长度，例如2毫米以下，这就是所谓的纤维规模的湍动。这种规模的湍动，能够由纸料悬浮液通过一个与它所要求的湍动规模大致相同的通道而产生，也即纸料通过一个2毫米的缝隙就能够产生一个规模为2毫米的微细规模的湍动。但这样细的缝隙很容易被纸料中的纤维所堵塞，因而在生产实践中要使用这种方法来产生微细规模的湍动是不现实的。目前使用的各种类型的以匀浆辊等作为整流元件的流浆箱，所产生的湍动规模都比“纤维规模”的湍动大得多，因而都未能取得分散絮聚物的良好效果。为了解决这个问题，近年来发展了高湍动的满流式流浆箱和满流气垫结合式流浆箱(如阶梯扩散器流浆箱、高湍动流浆箱等)，这些流浆箱的特点是能够产生高强度的微湍动，从而有利于分散纸料中的纤维絮聚物。例如阶梯扩散器流浆箱就是通过阶梯的突然扩大而产生高湍动的剪切应力来分散纸料悬浮液中的絮聚物。从对湍动的光谱的研究，也说明强度高、波长短的湍动有助于分解纸料悬浮液中的絮聚物；而强度高，波长长的湍动，则能造成纸页定量的不均匀。把高湍动流浆箱和普通匀浆辊流浆箱所得到的湍动光谱进行比较，可以看到，高湍动流浆箱的湍动有较高的强度、比较短的波长，因而高湍动流浆箱喷出的纸料流匀度较好，纸页的定量波动较小。由此可见，在流浆箱设计时，采取必要的措施控制湍动是非常重要的。

(二) 流浆箱

1. 流浆箱的主要作用和要求

流浆箱是造纸机的一个关键的部分，流浆箱的结构和性能对于纸页的形成、造纸机的抄造性能，以至纸张的质量均有重要的影响。流浆箱的主要作用和要求是：

(1) 沿着造纸机的横向均匀的分布纸料：要求上网的纸料沿着造纸机的全宽形成一个横截面形状为矩形的纸料流，并且沿着矩形横截面的全宽和全高各点的速度和湍动的分布是均匀一致的。上网的纸料流必须是稳定的纸料流，没有扰动、横流和大的涡流。

(2) 有效的分散纤维、防止絮聚：要求上网的纸料必须是均匀分散的纤维悬浮液，并且尽可能的保持纸料流中纤维无定向排列的程度。

(3) 按照工艺要求，保持稳定的浆速和网速的关系，并且要便于控制和调节。

(4) 流道平滑，没有挂浆的现象，并且便于清洗。

2. 流浆箱的基本组成

流浆箱是由布浆器(纸料的分布装置)、堰池(纸料的整流装置)和堰板(纸料的上网装置)等三个主要部分组成。其基本组成的示例如图 2-3-9 所示。

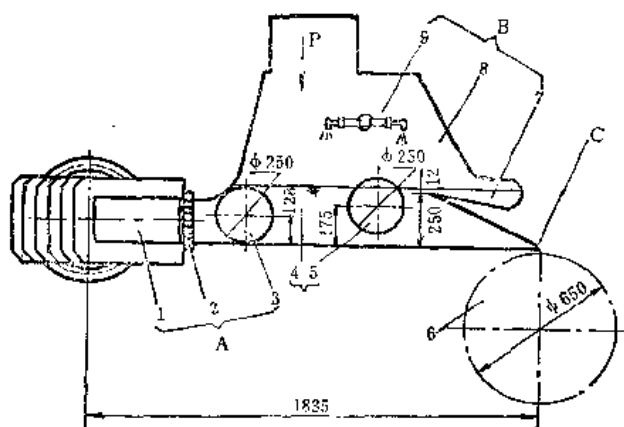


图 2-3-9 流浆箱基本组成示例 (封闭气垫式流浆箱)

A—布浆器 B—堰池 C—堰板 1—方锥形总管 2—孔板(均布元件) 3—匀浆辊(布浆器的整流消能装置) 4—堰池 5—匀浆辊(整流元件) 6—胸辊 7—溢流槽 8—箱体 9—旋转喷水管

图2-3-9所示的，是一种车速较高的造纸机的封闭气垫式流浆箱，由布浆器、堰池和堰板三个部分组成。布浆器的作用，是将纸料净化筛选系统送来的纸料，均匀地分布到流浆箱的堰池中，使得沿着造纸机全宽的上网纸料量均匀一致，这点对于抄宽比较大、抄速比较高的造纸机尤为重要。图中所示的流浆箱采用多孔板布浆器，由方锥形总管1、孔板(均布元件)2和匀浆辊(整流消能装置)3等部件构成。堰池是流浆箱的主体部分，堰池的作用，是根据造纸机车速的要求，保持堰池内纸料必须具有使浆速与网速相适应的静压头，并借助整流元件的作用，产生适当的湍动，以分散纤维的絮聚物和稳定纸料的流速，保证上网纸料的均匀分散和速度的均匀分布。图中所示的流浆箱，采用封闭式堰池，通过纸料液面上的空气压力(气垫)来调节静压头，堰池由堰池4、匀浆辊(整流元件)5、溢流槽7、箱体8和旋转喷水管9等部件构成。堰板是流浆箱的上网装置，堰板的作用是使纸料均匀的、以一定的流速和角度喷到网面上，以形成均匀的湿纸页。图中所示的流浆箱采用结合式堰板。

保持堰池内纸料必须具有使浆速与网速相适应的静压头，并借助整流元件的作用，产生适当的湍动，以分散纤维的絮聚物和稳定纸料的流速，保证上网纸料的均匀分散和速度的均匀分布。图中所示的流浆箱，采用封闭式堰池，通过纸料液面上的空气压力(气垫)来调节静压头，堰池由堰池4、匀浆辊(整流元件)5、溢流槽7、箱体8和旋转喷水管9等部件构成。堰板是流浆箱的上网装置，堰板的作用是使纸料均匀的、以一定的流速和角度喷到网面上，以形成均匀的湿纸页。图中所示的流浆箱采用结合式堰板。

3. 流浆箱的类型和发展情况

目前用于造纸机的流浆箱虽有多种型式，但从结构上可以归纳为敞开式、封闭式、满流式(溢流式)和满流气垫结合式等四种类型。这四种类型的流浆箱的形成有一个发展的过程，从敞开式流浆箱发展到满流气垫结合式流浆箱，是为了适应造纸机车速的提高，是随新成形器的出现和产品质量进一步提高所提出的要求而发展起来的。

敞开式流浆箱，主要用于一般中、低速造纸机，其特点是用箱内浆位来控制上网浆

速,通常通过调节箱内挡板高度来控制。随着造纸机车速的提高,要求堰池内纸料形成的静压头,必须与车速成平方的关系增加。因而当造纸机车速提高时,所要求的静压头迅速增大,这就造成在造纸机车速比较高的情况下,如果还采用敞开式流浆箱的话,则流浆箱不论在容积、高度、结构和重量等方面均变得很大和比较复杂。为了解决这个问题,发展到封闭(气垫)式流浆箱,这种流浆箱的特点,是在流浆箱密封的堰池内,按照造纸机车速的要求,形成一定的气压(气垫),而堰池只保持一定的较低的浆位。车速变化时,只需要变更气垫压力,不需要变更浆位,因而这种流浆箱就具有对车速的适应性范围大、调节方便、结构紧凑、体积较小、车速变化时不需要变更浆位等优点,因而广泛的用于车速较高(例如 300~400 米/分以上)的造纸机。也有一些抄特种纸张(如电容纸)的造纸机,为了在低车速的情况下,使流浆箱有较高的浆位,以便在箱内设置整流元件,发展了封闭式的真空(抽气)流浆箱。最近十年来,由于各种类型的夹网成型器的发展,对流浆箱提出了新的要求。夹网成型器的特点,是纸料喷到夹网成型器的两网之间后,在很短的时间内,就大量脱水并形成纸页,因而所形成的纸页,就直接反映流浆箱喷出的纸料的纤维分散或絮聚的情况,这就要求流浆箱喷出的纸料,在速度分布上更加均匀一致和更充分地分散纤维。加之普通长网造纸机车速和产品质量的进一步提高,对流浆箱也提出同样的要求,而一般敞开式或封闭(气垫)式流浆箱在结构上(主要是所配用的整流元件整流效果较差),不能够很好的满足这个整流的要求,因而就促进了采用新的整流元件的满流式流浆箱,如阶梯扩散器流浆箱、稳流流浆箱、集流式流浆箱、水力式流浆箱等。这类流浆箱的特点是流浆箱充满纸料,按照造纸机车速的要求,通过混合泵的输浆压力、高位箱的浆位或气垫稳浆箱的空气压力来调节上网纸料的速度,其中以使用气垫稳浆箱比较便于控制和调节。由于这类流浆箱,配用能够发生强度大的微湍动的整流元件,整流效果好,流浆箱没有转动部分,体积较小,效率较高,因而较广泛地用于夹网造纸机和车速高、要求高的长网造纸机和圆网造纸机。这类流浆箱,由于没有溢流装置,因而也出现泡沫比较难于排去,以及出现脉动等问题。为了解决这些问题,又发展成满流气垫结合式流浆箱,如七十年代出现的 W-型高湍动流浆箱和近年来发展的涡流喷嘴式流浆箱(Turbo-Flow Nozzle 流浆箱),这类流浆箱的特点,是配有满流式流浆箱使用的,能够发生强度大的微湍动的整流元件,而流浆箱的压力和流量控制,又采用一般封闭(气垫)流浆箱所采用的气垫调压和溢流控制的方法,使得这一类型的流浆箱既具有满流式流浆箱整流效果好、没有转动部分、体积小等优点,又有可以排除泡沫和消除脉动,因而适用于夹网成型器和车速高、要求高的长网造纸机。

4. 布浆器

布浆器也就是流浆箱的布浆系统。如前所述,它的作用是将纸料净化筛选系统送来的纸料,均匀地分布到流浆箱的堰池中,使沿造纸机全宽的上网纸料量,是均匀一致的,因而布浆器是流浆箱的重要组成部分。一个好的流浆箱,必须有一个高效率的布浆器,使得纸料一进入造纸机就能分布均匀。

(1) 布浆器的要求:高效率的布浆器必须达到下列的要求:

- ① 沿着造纸机的全宽压力相等,而且稳定;
- ② 不使浆流分成大的支流;

- ③ 对来料的不稳定性不很敏感；
- ④ 内壁必须光滑以防挂浆；
- ⑤ 便于清洗；
- ⑥ 大抄宽造纸机的布浆器还必须设有检修和清洗用的人孔或手孔。

(2) 布浆器的组成和型式：布浆器一般由总管和均布元件（包括相应的整流消能装置）组成。目前使用的布浆器有单管布浆器[图 2-3-10(1)]、错流布浆器[图 2-3-10(2)]、多管进浆布浆器[图 2-3-10(3)]、多孔板布浆器[图 2-3-10(4)]、管束布浆器[图 2-3-10(5)]和阶梯扩散器布浆器[图 2-3-10(6)]等几种型式。

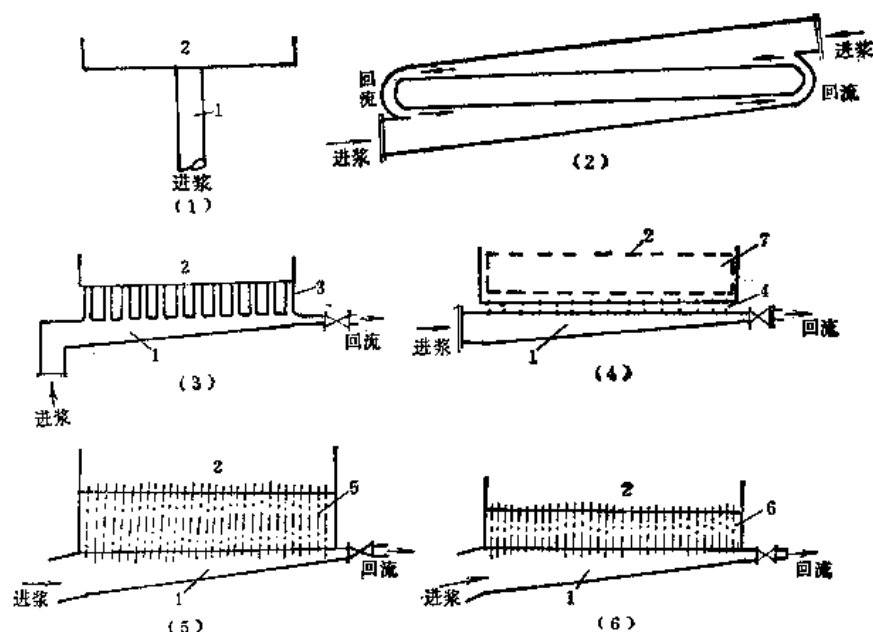


图 2-3-10 各种布浆器示意图
1—总管 2—流浆箱箱体 3—支管 4—孔板 5—管束 6—阶梯扩散器 7—匀浆辊

各种布浆器的特点和使用范围如表 2-3-6 所示。

(3) 布浆器的总管：

① 总管的型式：布浆器的总管可以分为单程进浆方锥形总管、单程进浆圆锥形总管、双程进浆圆锥形总管、弓形总管等几种，其中，比较普遍应用的有单程进浆方锥形总管和单程进浆圆锥形总管。由于单程进浆方锥形总管具有设计和制造比较简单，断面可以制造得比较精确，能够适应多种形式的布浆器（如多管、孔板、阶梯扩散器、管束）的要求，因而，是用得最广泛的一种总管。

② 单程进浆方锥形总管：单程进浆方锥形总管结构示例的示意图，如图 2-3-11 所示。

图中所示的单程进浆方锥形总管，是用于净纸宽度 3150 毫米的 ZW 10 长网多缸造纸机的封闭气垫式流浆箱。

在设计单程进浆方锥形总管时，为了使方锥形总管的始端（进浆端）和末端（回流端）的浆流方向不变，采用只有一个方向上有尺寸变化的等宽矩形总管。为了在总管内获得

表 2-3-6

各种布浆器的特点和使用范围

布浆器型式	特 点	使 用 范 围
单管布浆器	1. 为了尽量减少混入空气, 多采用从底部进浆, 进浆有三种情况: 一种用圆形浆道(管), 一种用方形浆道, 一种用扁长形浆道与流浆箱箱体连接。以最后一种较好 2. 结构简单, 但纸料分布不够均匀	用于抄宽窄车速低的圆网或长网造纸机
错流布浆器	1. 带有回流管的错流布浆器, 是由2个锥形浆槽, 以相对方向供浆给流浆箱, 因而, 消除导致不均匀分布的横向流动是比较困难的, 对流量的变化也较敏感, 但基本上还能适应布浆要求 2. 结构复杂, 加工要求高	用于某些五十年代制造的高速造纸机
多管进浆布浆器	1. 纸料从一根供浆总管, 通过沿纸机横幅方向的多根支管流动, 再经几次节流扩散, 布浆还比较均匀 2. 结构比较紧密, 占地面积小 3. 每根支管必须具有相同的尺寸和几何形状, 但实际上设计、制造、使用等几方面, 均不易做到准确, 而有误差, 影响布浆效果 4. 清洗不便, 易造成挂浆	用于各种类型的造纸机
多孔板布浆器	1. 用一块有许多小孔的孔板, 作为总管与流浆箱之间的分界 2. 由于孔板形成大量的细小射流, 可以减少扩散节流次数, 布浆较均匀稳定 3. 结构较简单, 制作较方便, 清洗方便	用于各种类型的长网造纸机
阶梯扩散器布浆器	由于阶梯扩散器分段扩大, 因而具有较好的布浆效果, 并能够产生高强度微湍动, 对于消除絮聚, 改进纸页形成有较显著的效果, 可以节省流浆箱的整流元件	可以用于各种类型的造纸机
管束布浆器	1. 具有较好的布浆效果, 并能产生高强度的微湍动, 因而能够消除絮聚, 改进纸页成型 2. 结构复杂, 制作要求高	用于新型的高速长网造纸机和夹网造纸机

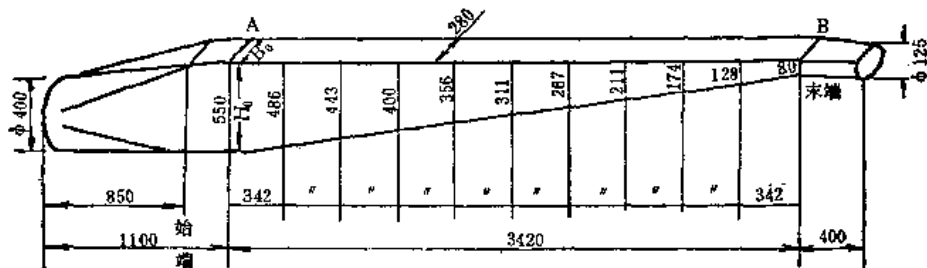


图 2-3-11 单程进浆方锥形总管断面工艺尺寸示意图

不变的压力, 考虑到沿管的摩擦损失, 总管的后壁从理论计算得到的是一条抛物线型的曲线, 但由于设计上和制造上的原因, 一般制作为一条直线。总管始端断面尺寸, 决定于最大纸料流量和允许的浆流速度, 一般总管流速为 $1\sim 3$ 米/秒。至于初始断面高度 (H_0) 和宽度 (B_0) 的比例, 一般是宽度 B_0 决定于均布元件对宽度的要求 (例如使用孔板作为均布元件时, B_0 应与孔板的宽度相等), 因而在相同进浆量的情况下, 流速越大, 高宽比也就越大, 在一般情况下高宽比 ($H_0:B_0$) 取 $2\sim 3:1$ 。至于末端的断面尺寸, 则

由最大的回流量来决定。为了保证浆流稳定地进入总管，总管始端矩形截面和进浆圆形截面间的短管(过渡管)，应有一定的长度。

③ 单程进浆圆锥形总管：单程进浆圆锥形总管的示意图，如图 2-3-12 所示。

在设计圆锥形总管时，要考虑到制造的问题，由于制造困难等原因，单程进浆圆锥形总管的形状，不能按理论上要求，设计和制造成抛物线型的曲面体，一般是用多段(多数用 3~4 段)不同锥度的直线锥管相互焊接起来，使锥管接近于所要求的曲线体。

④ 总管的回流量：为了使总管压力恒定，并防止纤维束、尘埃、泡沫、空气等聚集到末端，总管必须有一定的回流量，改变回流量，能够改变总管的压力和均布元件后的速度分布情况，因而要很好的控制。回流量的大小取决于：出口处的几何参数；要有足够的流量，以便于在全部工作流量范围内，都能得到适当的控制；保证系统的清洁。一般回流量为 5~15%。

(4) 布浆器的均布元件：

① 均布元件的作用和型式：布浆器均布元件的作用是沿着造纸机的横向均匀地分布纸料。

均布元件有多管、孔板、阶梯扩散器和管束等几种型式。在使用多管或孔板作为均布元件时，必须配备整流消能装置，以克服多管(或孔板)流出的多股浆流的不稳定性。而阶梯扩散器、管束等均布元件，则同时能够起到整流消能作用，并且能够产生微湍动，因而又可以作为整流元件。这里主要介绍多管和孔板，而阶梯扩散器和管束留在“整流和整流元件”中再作介绍。

② 多管：多管在结构上可以分为：进浆断面、出浆断面均为圆形的直管 [图 2-3-13(1)]；进浆断面为圆形、出浆断面为矩形的异形管 [图 2-3-13(2)] 和文丘里管 [图 2-3-13(3)] 等几种。

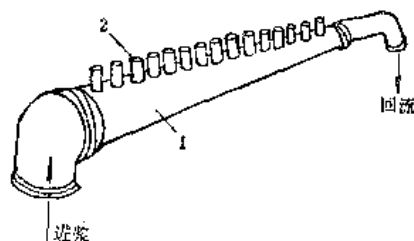


图 2-3-12 单程进浆圆锥形总管示意图
1—圆锥形总管 2—支管

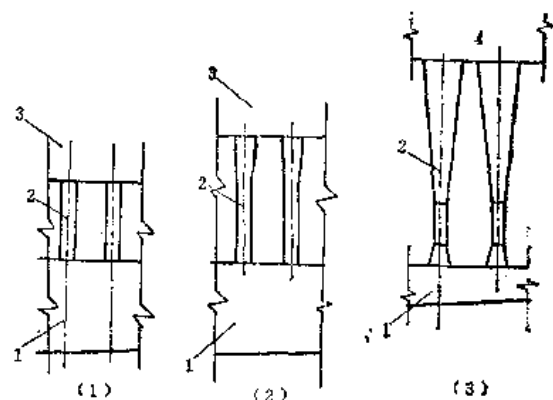


图 2-3-13 各种多管示意图

1—总管 2—支管 3—整流消能装置 4—流浆箱

直管结构简单，是目前用得较多的一种，它又有两种基本型式：一种直径较大($\phi 150$ 毫米左右)，根数不多，在直管中还装有孔板，支管的流速与总管中的流速相差不大，一般加速比不超过 1.7；另一种是支管，直径较小($\phi 25 \sim 65$ 毫米左右)，根数较多，支管的流速与总管中的流速相差较大，一般加速比在 2 左右。由于直管喷出的各股浆流动能较大，因而要求进入堰池前，要经过较复杂的整流消能装置，通过几次的节流扩散，进行缓冲和减速，使浆流能够混合成为稳定的浆流进入堰池。一般使用的整流消能装置，有双冲击式 [图 2-3-14(1)]、冲击与旋涡结合式 [图 2-3-14(2)]、旋涡式 [图 2-3-

14(3)]和冲击式等几种。

对于车速较高的造纸机，以选用双冲击式较为适宜。使用双冲击式整流消能装置时，纸料由支管2喷到双冲击式节流扩散器的扩散部分O中，喷出的浆料速度一般为2~3.5米/秒。几股浆流在扩散部分混合扩散，速度降至0.2米/秒左右，控制节流缝的塞子P可以上下移动，节流缝的间隙控制在10~20毫米之间，速度为2~5米/秒，可根据生产情况来控制。通过节流缝的浆料，再经过减速后，进入堰池。

异形管结构较复杂，但由于出口是矩形的(通常是正方形的)，截面积较大，对浆料有一定的减速作用，因而分布较均匀，对整流消能装置的要求也比直管低。异形管目前用于某些高速造纸机的流浆箱。

文丘里管结构复杂，但本身已起到整流消能作用，因而不需要再配备整流消能装置。目前，只有个别造纸机，使用文丘里管式的。

③ 孔板：孔板是一块有许多小孔的固定板面，一般用有机玻璃制作。孔板构造的示意图，如图2-3-15所示。

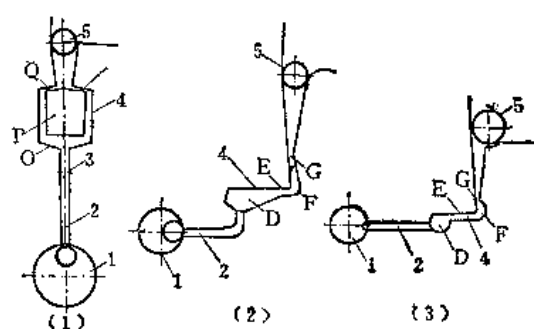


图 2-3-14 多管进浆布浆器的各种整流消能装置示意图

1—总管 2—支管 3—孔板 4—整流消能装置
5—勾浆辊 O—扩散部分 P—塞子 Q—节流缝
D—第一扩散室 E—第一节流缝 F—第二扩散室 G—第二节流缝

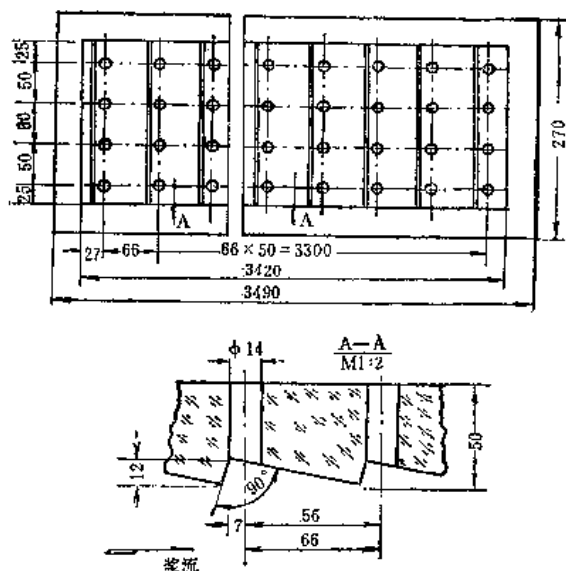


图 2-3-15 孔板结构示意图

图中所示的孔板用于净纸宽度3150毫米的ZW10长网多缸造纸机的封闭气垫式流浆箱。在设计孔板时应注意下列的问题：

(i) 孔径的选择：孔径的选择必须适当，孔必须足够大，使之用于不同的纸料时不致堵塞；但又不能太大，以便于孔板后纸料的混合。根据一些试验表明：为了容易混合，孔的极限尺寸以直径19毫米为宜，至于最小孔径，对于1%浓度的长纤维牛皮浆而言，6.3毫米的孔径也不致堵塞。目前一般用14~18毫米的孔径。为了防止挂浆，要求眼孔必须加工得很光滑，并且要采用横断面为锯齿状的孔板结构。

(ii) 加速比：加速比一般以1.5~2左右为宜。如孔的流速太低，容易产生挂浆和堵塞的问题；反之，流速太高，又会造成通过孔板后的纸料速度分布不够均匀。

(iii) 孔板的厚度和孔的直径的比例：孔板厚度(δ)和孔的直径(d)的比例，实际上是孔的长度(l)和孔的直径(d)的比例。为了使通过孔板后纸料的速度有比较均匀的分

布, 看来 $l:d$ 以不低于 $3\sim 4:1$ 为宜, 至于最合理的比例, 尚待进一步研究。目前孔板的厚度, 一般不小于 50 毫米。

由于孔板流出的纸料, 比较容易减速, 并混合成为均匀的浆流, 因而与多管相比较, 虽然可以使用比较简单的整流消能装置, 但合适的整流消能装置, 对于孔板也是很重要的。图 2-3-16 所示的是孔板布浆器使用的几种整流消能装置示意图。

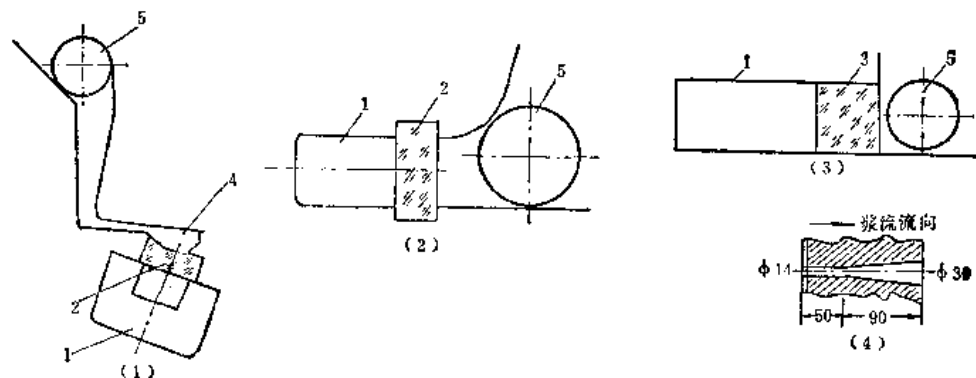


图 2-3-16 孔板布浆器使用的几种整流消能装置示意图
1—方锥形总管 2—孔板 3—两段开孔孔板 4—接受室 5—匀浆辊

图 2-3-16(1) 是使用接受室作为整流消能装置。这种装置在结构上, 类似多管进浆布浆器使用的冲击式节流扩散的整流消能装置, 结构较复杂。从 3150 长网多烘缸造纸机的敞开式流浆箱(车速 250 米/分, 抄造新闻纸, 纸料通过孔板流速为 4.5 米/秒)使用这种整流消能装置的情况看来, 进到流浆箱堰池的纸料流, 均匀稳定, 纸页横幅定量差在 2% 以下, 因而效果较好。图 2-3-16(2) 使用匀浆辊作为整流消能装置, 这种装置结构简单, 用于 3150 长网多烘缸造纸机的气垫流浆箱, 根据试用的情况(车速 260 米/分 \sim 320 米/分, 抄造新闻纸, 通过孔板的流速约 6 米/秒), 发现纸页的横幅定量差达到 8 \sim 10%, 不够理想。其原因除与流浆箱的其他因素和操作有关外, 看来与匀浆辊的整流消能作用较差有密切关系。为了解决这个问题, 有的试验用导流板代替匀浆辊, 纸料的流动比较稳定。国外, 也有在多孔板后, 放置垂直导流片, 解决由于横流造成的扰动的经验。图 2-3-16(3) 是使用两段开孔的孔板和匀浆辊的整流消能装置, 两段开孔孔板的孔眼, 如图 2-3-16(4) 所示, 孔眼分为转向孔和导流孔两段, 转向孔的作用与一般多孔板相同, 而喇叭形的导流孔的作用, 是为了消除急速的射流, 减少孔板对纸料的压力损失, 并使纸料稳定均匀的进入流浆箱的堰池, 这样导流孔与匀浆辊结合起来(也可以不使用匀浆辊), 就能够起到比较好的分散作用。在 1760 长网多烘缸造纸机的敞开式流浆箱(车速 170 米/分, 抄造凸版印刷纸, 纸料通过孔板在进口侧流速为 2.6 米/秒, 出口侧为 0.6 米/秒), 使用这种整流消能装置的情况, 看来效果比较好, 纸页的横幅定量差在 2% 以下。但这种装置的孔板结构比较复杂。

5. 堰池

堰池是流浆箱的主体部份, 堰池的作用是根据造纸机车速的要求, 保持堰池内的纸料必须具有使浆速(上网纸料速度)与网速相适应的静压头, 并借助整流元件(发生湍动的元件)如匀浆辊、隔板、孔板、阶梯扩散器、管束、板栅等的作用, 产生适当的湍动,

以分散纤维的絮聚和稳定纸料的流速，保证上网纸料的均匀分散和速度的均匀分布。

(1) 造纸机车速与堰池静压头的关系：造纸机的车速与堰池静压头的关系可以根据下列公式计算：

$$H = \frac{(K_c K_T V)^2}{2 g \mu^2} \text{ (米)} \quad (2-3-6)$$

式中 H ——浆池内纸料高度(米)；

V ——造纸机车速(米/分)(计算时换算成米/秒)；

K_c ——网速对车速的滞后系数；

K_T ——浆速对网速的滞后系数；

g ——重力加速度(9.81 米/秒²)；

μ ——出唇系数。

滞后系数 K_c 对一般的纸张(如新闻纸、凸版印刷纸、书写纸、胶版印刷纸等)为 0.95，粘状浆抄的薄纸(如电容器纸、描图纸、卷烟纸等)为 0.87~0.88，纸袋纸为 0.95~0.96。滞后系数 K_T 一般为 0.83~0.92。出唇系数 μ 对于喷浆(鸭嘴)式堰板为 0.9；对于结合(鹰嘴)式堰板为 0.78；对于垂直式堰板为 0.8。

由公式(2-3-6)看出，随若造纸机车速的提高，要求堰池内纸料形成的静压头以成平方的关系增加。车速和静压头的相互关系，如图 2-3-17 的曲线所示。

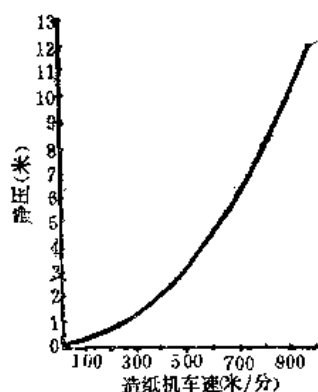


图 2-3-17 堰池静压头与造纸机车速的关系

(2) 整流和整流元件：

① 整流的作用和要求：整流的作用，是借助流浆箱的整流元件产生的适当湍动，以分散纸料中的絮聚物，并稳定纸料的流速，保证上网纸料的均匀分散和速度的均匀分布。

为了更好地发挥整流的作用，高效率的整流元件必须能够产生高强度小规模微湍动，以作用于每根单纤维，从而更有效的分散絮聚物。

② 整流元件的型式、特点和使用范围：目前使用的整流元件有隔板(挡板)、匀浆辊、孔板、阶梯扩散器、管束、板栅、导流片、飘片(塑料薄片)等多种。

隔板是一种最简单的整流元件，结构简单，制造容易，操作维护方便，但产生的湍动规模较大，整流效果较差，容易产生浆团，使用隔板整流元件的流浆箱箱体容积也较大。因而，隔板只用于车速较低的造纸机的敞开式流浆箱。

匀浆辊是目前广泛使用的一种整流元件，可应用于流浆箱堰池的不同部位，有一定的整流效果。但匀浆辊也存在一些问题，例如产生的湍动规模和强度均较大，影响整流效果；需要转动，造成流浆箱的传动机构结构复杂；辊子两端纸料流动不稳定，造成流浆箱边缘流动的波动等。匀浆辊主要用于一般敞开式和封闭式(气垫式或真空式)流浆箱。

阶梯扩散器、管束、板栅等，是近年来发展起来的整流元件，由于能够产生强度大而规模小的微湍动，因而整流效果比较显著，而且这些整流元件都是非旋转式的，使得

流浆箱没有转动部分，可以缩小体积和简化传动机构。阶梯扩散器和管束还可以兼作均布元件，因而是几种效率较高的整流元件。阶梯扩散器可以适用于各种类型的流浆箱；管束由于结构较复杂，主要适用于车速较高的造纸机的流浆箱；板栅目前用在某些新型流浆箱（如涡流喷浆式流浆箱）的湍动发生区。

导流片由于能够较有效地消除纸料在流浆箱流送过程中的横流现象，因而主要是与其他整流元件（如匀浆辊）配合起来使用，以改善纸页的成型，减少横幅定量差。

③ 匀浆辊（孔辊）：匀浆辊（孔辊）是一个薄壁的、壁上钻有大量小孔的空管辊，一般用不锈钢制作，厚 3~5 毫米。纸料通过匀浆辊时，首先向辊中心收敛，然后再由中心向半径方向扩散流出。纸料通过后，能够形成强度较大的湍动，而使纸料分散，避免纤维的絮聚，并使上网的纸料速度分布比较均匀，从而起到整流的作用。影响匀浆辊整流效果的主要因素有：开孔率和孔径、转动的方向和转速、辊的直径、辊数和辊的位置。

开孔率和孔径：匀浆辊的开孔率越小，通过辊孔的速度也就越大，所产生的湍动也越强烈，但辊的阻力也就越大，纸料的压头损失也越大，因而要根据匀浆辊在流浆箱堰池中的位置来合理确定开孔率。根据生产实践的经验，一般在堰池进料口的匀浆辊开口率，控制在 30~40% 之间，在堰池中部的匀浆辊的开孔率，控制在 35~50% 之间，靠近堰板口的匀浆辊开孔率，多采用 50~52% 左右。靠近堰板口的匀浆辊的开孔率不能过小，否则在辊出口的浆流中的湍动没有足够的时间扩散，使得堰板喷出的浆流不稳定，不利于纸页的形成。匀浆辊的孔径一般为 20~25 毫米。

转动的方向和转速：匀浆辊的转动不但能起一种自我洗涤的作用，使辊壁保持清洁和不挂浆，而且更重要的是能够起一种搅拌的作用，使纸料通过匀浆辊后，能产生一种剪切强度较大的湍动，以利于分散纤维的絮聚。应根据匀浆辊的位置和其他工艺条件，来合理确定匀浆辊的转数和转向，一般以 0.2 米/秒的线速度转动。新设计的流浆箱的匀浆辊的转速和转向，是可以调节的。

辊的直径、辊数和辊的位置：在确定匀浆辊的直径时，要考虑匀浆辊的刚度、造纸机的宽度和流浆箱的结构等问题。一般来说匀浆辊要求比较大的刚性，其原因是由于匀浆辊一方面要求高的开孔率，另一方面又要求辊面与流浆箱箱壁比较严格地在造纸机全幅保持一定的距离，过大的挠度会影响匀浆辊的工作效果，因此造纸机抄宽越大时，匀浆辊的直径也越大。匀浆辊的直径与堰池的深度有关，堰池深度大，匀浆辊的直径也大些。匀浆辊的辊数与辊的位置和流浆箱的结构有关。一般设有两根匀浆辊，在堰池进口和靠近堰板口各一根。也有的流浆箱用 3~5 根匀浆辊，其中有 1~3 根设在堰池的中部，作为纸料通过堰池时整流之用。但目前由于效率比较高的布浆器和整流元件的发展，趋向于提高纸料在堰池的流速，缩小堰池的体积。因而新设计的流浆箱又有取消设在堰池中部的匀浆辊的趋势。

④ 阶梯扩散器：阶梯扩散器是一种分级扩大，而不是圆锥形的扩散器。在每一级之后通过发生可控制的涡流产生高强度的微湍动，并从速度头中恢复静压头。阶梯扩散器具有下列的作用：

(i) 把从流浆箱侧面输进的纸料转变到造纸机的纵向；

- (ii) 并沿着造纸机的宽度均匀的分布纸料；
- (iii) 产生可控的高强度微湍动，以打破纤维的絮聚。

阶梯扩散器的工作原理，如图 2-3-18 所示。从侧面输进方锥形总管的纸料，在转为纸机纵向时，被一个接一个排列成块的阶梯扩散器分为多股单独的浆流，在阶梯的分

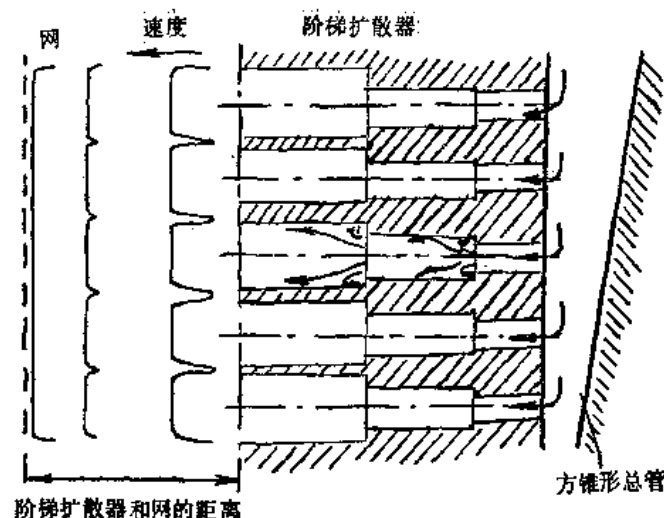


图 2-3-18 阶梯扩散器工作原理

段处产生可控的高强度微湍动，在通过阶梯扩散器后，各股浆流又迅速地汇合起来，送到造纸机的网部。

阶梯扩散器出口的速度分布和相对湍动强度分布，对阶梯扩散器的效能有较明显的影响，只有当每一个单独的阶梯扩散器出来的纸料，都具有均匀的横向速度分布，才能使从阶梯扩散器出来的各股浆流，迅速和均匀地汇合成为矩形的速度和湍动均匀分布的浆流，并防止两次流动和纤维再絮聚的现象。根据试验的情况表明，在第三级后的速度和湍动的分布，与第二、三级的 l/d 比有很密切的关系。

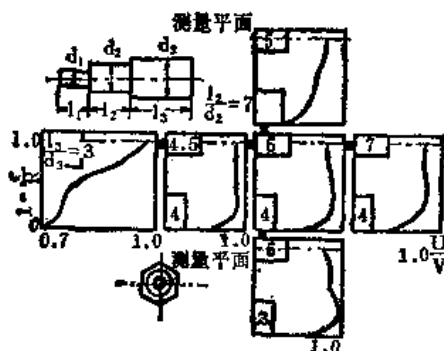


图 2-3-19 阶梯扩散器的速度分布

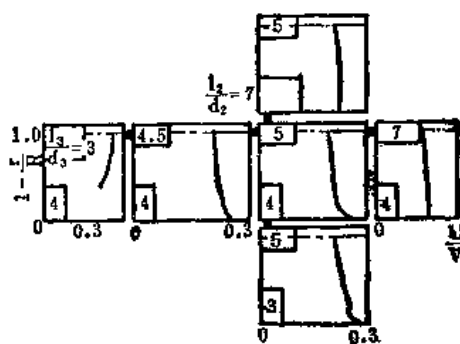


图 2-3-20 阶梯扩散器相对湍动强度分布

从图 2-3-19 可以看到，最后一级（即第三级）中的 $l_3/d_3=3$ 时，速度的分布是不均匀的，中心的流动速度非常高，而接近孔壁则比较低，其原因是扩散器第三级的长度太短，第二级中的强有力的中心流一冲而过，不会靠拢孔壁，从而造成较大的速度差。当 $l_3/d_3=4.5$ 时，由于湍动的变化，使得在大范围内速度分布比较均匀。当 l_3/d_3 的比例

增加到7时,与中心部分相比较,接近孔壁时的速度逐步降低了,这是由于孔壁的摩擦效应的增加所造成的。同样,第二级也不应太长,当第二级的 l_2/d_2 的比例增加到7时,接近孔壁的流动速度也是比较低的,这是由于第二级孔壁的摩擦效应,对第三级后的速度分布的反作用造成的。良好的阶梯扩散器的速度分布,从管中心的最大值至管壁变动微小为佳。因此,第二级和第三级的 l/d 比例范围,以4~4.5较为合适。图2-3-20所示的是阶梯扩散器相对湍动强度的分布情况,从图中的曲线可以看到,最后一级的 l_3/d_3 3时,在接近孔壁附近的湍动是最大的。当 $l_3/d_3=4.5$ 时,能够得到比较好的速度分布和湍动的效果。

从试验的情况指出,作为整流元件的阶梯扩散器,具有湍动强度高,在转变流动方向时,具有较高的壁剪切应力,速度和湍动的分布实际上是矩形的。根据报导,用耐磨的聚酰胺制成的扩散器,使用三年后也看不出磨损,阶梯的尺寸保持不变。流浆箱的结构也比较简单,因而是一种效果好的整流元件。

⑤ 管束(管棚):管束是一种由大量的小直径管子组成的整流元件,组成管束的管子,两头的管径是不相同的,一般纸料入口端的管径较小,呈圆形的断面,而纸料出口端的管径较大,可以是圆形断面也可呈六角形或五角形的断面,并且互相连接在一起,从而使纸料能够圆滑地扩散到整个横断面上。图2-3-21是一组用于W型高湍动流浆箱作为第二分配管的管束,每根小管进口端的管径是22毫米,管内的纸料流动速度约为5米/秒,出口端的断面积为进口端断面积的1.8倍,流速约为2.8米/秒。



图 2-3-21 管束两端断面示意图

管束的整流原理,在于管束采用小直径的管子,把总管送来的纸料流细分成单独的浆流,然后再汇合起来。纸料在管束内的流动过程中,由于摩擦作用,在管壁附近形成强烈的湍动,更由于管的端部是缓慢扩大的,从而能产生更微细的强度大的湍动,这些湍动能够有效的分散纤维,防止纤维絮聚,并有效地消除浆流中的大涡流和横流,因而整流效果比较显著。

由于管束是由很多小管组成的,因此,管的数量很多,如一台抄宽4.3米的立式夹网造纸机所使用的立式流浆箱的管束,是由1904根直径14毫米的不锈钢管组成的。要求较高的加工精度,制造的工作量大。

(3) 堰池形状:在设计堰池时,要注意保持流道内浆流深度不变,且纸料应尽量做到直线运动,因而除唇口收缩部份外,整个堰池内流动的断面是相同的,唇口应呈直线收缩。这样做的目的,是为了避免对堰池内纸料流的稳定性有不良影响的二次流动现象的出现。根据这个要求,堰池的池底应以平底为宜,并且在布浆器和整流元件效率较高的前提下,可适当增加通过堰池的纸料流速,减少在堰池中纸料的深度(对气垫式流浆

箱而言),从而缩小堰池的体积,改善堰池中浆流的速度分布。

(4) 溢流装置:为了更好地稳定流浆箱的浆位,排除泡沫,使上网纸料更加均匀一致,在设计敞开式流浆箱、封闭式(气垫式或真空式)流浆箱时,最好设有溢流装置(满流气垫结合式流浆箱也设有溢流装置),溢流出来的纸料一般送到网下白水池,溢流量一般为5%左右,溢流高度为10~15毫米。至于溢流装置的位置,以设在流浆箱堰池的前壁较为适宜,这样对于稳定纸料流、排除泡沫效果都比较好。有的低速造纸机的敞开式流浆箱,由于堰池浆位低,溢流槽设在前壁比较困难,因而设在堰池的后壁。

(5) 喷水管和视孔:为了消除泡沫和清洁流浆箱箱壁,一般流浆箱都装有喷水管,这点对封闭式的气垫流浆箱尤其重要,根据一些工厂生产的经验,如果喷水管坏了,泡沫和浆块的沉淀就显著增加,生产很快就不正常。由此可见,喷水管是流浆箱的一个重要部分,为了提高喷雾的效果,可以采用水平旋转式或摆动式的喷水管。此外,封闭式流浆箱还应装有视孔和照明装置。

(6) 流浆箱箱壁的结构和材料:流浆箱箱壁必须有较大的刚度,以免流浆箱内的压力使流浆箱箱壁发生变形。流浆箱的内壁必须光滑,不能有挂浆的现象,车速较高的造纸机,由于堰池的静压头较高,箱壁一般用钢板制作,内衬不锈钢板,外加筋板以增加其刚度。低速造纸机的箱壁一般可以用塑料板或木板制作。国外,也有使用玻璃纤维加强塑料制作流浆箱的。

6. 堰板

堰板亦即流浆箱的上网装置。如前所述,堰板的作用是使纸料均匀地、以一定角度喷射到网案的网面上,在网上形成均匀的湿纸页。因而,堰板的设计和操作,对于纸页的形成和纸页横幅定量的均匀性,有明显的影响。

(1) 堰板的要求:对堰板的主要要求有:

① 堰板口的开度可以进行全幅的调节,以控制喷唇浆速,适应造纸机车速变化和产品质量的要求;

② 堰板的喷唇开度可以进行局部微调,以补偿浆流中微小缺陷所造成的不均匀状态,保证沿着造纸机横幅全宽均匀地分布纸料,因而必须设有局部微调喷唇开度的装置;

③ 可以控制喷射角和着网点;

④ 可以控制浆料的稳定性和浆流湍动的规模及分布,并有利于分散纤维的絮聚物。

(2) 堰板的型式和特点:车速很低的长网造纸机(如抄描图纸的长网造纸机)的流浆箱,还使用斜板式堰板,如图2-3-22(1)所示。其特点是,由两块垂直的闸板(堰板)和一块斜堰板组成,由于有斜堰板,因而,便于调节沿着造纸机全宽上的缝隙,使上网纸料分布比较均匀。某些低速的抄浆机还有使用直闸板式堰板,如图2-3-22(2)所示。其特点是,由两块或三块垂直的闸板(堰板)组成。

目前广泛使用的是各种带喷嘴的堰板,这类堰板在结构上可以分为喷浆(鸭嘴)式、垂直式和结合(鹰嘴)式等三种。各种喷嘴式堰板的示意图,如图2-3-23所示。

喷浆式堰板的特点,如图2-3-23(1)所示。喷浆口由上、下唇板组成,上唇板是倾斜的,具有逐渐收缩的喷浆道,可以通过上唇板调节机构调节喷浆口上、下唇板之间的

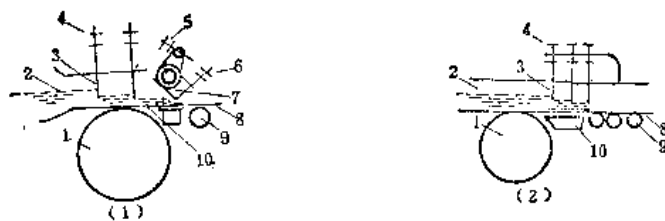


图 2-3-22 斜板式堰板和直闸板式堰板

1—胸辊 2—堰池 3—直闸板 4—调整直闸板高度的手轮 5—调节缝隙开口的手轮
6—局部调节缝隙开口的手轮 7—斜板 8—网 9—案辊 10—唇布

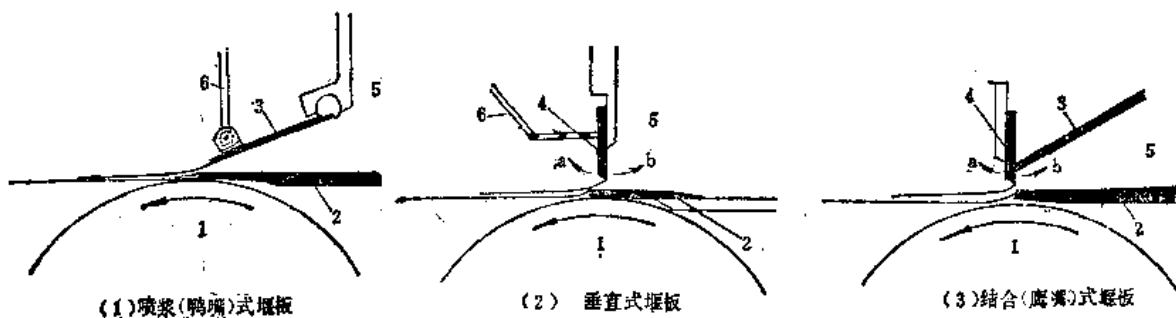


图 2-3-23 各种喷嘴式堰板

1—胸辊 2—下唇板 3—上唇板 4—垂直堰板 5—堰池 6—上唇板调节机构

间隙宽度。根据抄纸过程中纸页横幅定量的情况，进行全幅或局部的调节。此外还可以通过调节上、下唇板的相对位置，以及下唇板与胸辊的距离，控制上网纸料的喷射角和着网点。垂直式堰板的特点如图 2-3-23(2)所示，垂直堰板与流浆箱堰池的前壁结合成为一体。通过调节机构可以控制堰板向前(图中的 a 方向)、向后(图中的 b 方向)作 15° 的倾斜。垂直堰板根据需要也可以作全幅或局部的调节，以控制喷唇开度。这种堰板的优点是结构简单，调节方便，纸料上网比较均匀，纸页横幅定量差比较小，可以控制在 $1\sim 2$ 克/米² 以内。但也存在容易挂浆、喷出的纸料着网点较近胸辊的中心线，因而一着网就大量脱水，从而影响纸页的匀度等问题。在使用过程中还发现着网点不易调节，有的造纸厂试验过将垂直堰板向后倾斜，结果着网点虽可以离胸辊中心线远些，但纸料的气泡多，反而影响纸页的匀度。结合式堰板的特点如图 2-3-23(3)所示。这种堰板的特点，是在喷浆式堰板的上唇板上加垂直上堰板，垂直上堰板的凸出点为 $5\sim 7$ 毫米，使纸料在上网之前受到一次强烈的收缩，从而使纤维有良好的分散。通过调节机构，垂直上堰板可作全幅上、下调节和局部微调，并可在水平方向倾斜前后各 25 毫米，以调节着网点。垂直上堰板向前倾斜时(图中的 a 方向)，着网点靠近胸辊中心线；反之，垂直上堰板向后倾斜时(图中的 b 方向)，着网点向前，离胸辊中心线远些，因此必须生产过程中根据纸页形成和脱水的情况，来调节垂直上堰板，以控制纸料上网的着网点。至于垂直上堰板挂浆的问题，由于凸出点只有 $5\sim 7$ 毫米，加之在这一段纸料处于加速的过程，流速很快，停留时间极短，因而不致于造成挂浆的现象。这种堰板兼有喷浆式堰板和垂直式堰板的优点，是一种比较好的堰板。

堰板喷唇的宽度 B ，可以根据下列公式计算。

$$B_s = \frac{(B + 2e) \times 100}{(100 - \varepsilon)} + 2s \text{ (毫米)} \quad (2-3-7)$$

式中 B ——净纸宽度(毫米);

e ——切边宽度(毫米);

ε ——总横缩率(%);

s ——滴边宽度(毫米)。

堰板喷嘴开度 a 可以根据下列公式计算:

$$a = \frac{Q}{B_s V_T} \text{ (米)} \quad (2-3-8)$$

式中 Q ——上网浆量(米³/秒);

B_s ——喷口的宽度(米);

V_T ——上网浆速(喷口浆速)(米/秒)。

7. 流浆箱示例

(1) 敞开式流浆箱: 敞开式流浆箱有多种结构型式, 这一段着重介绍两种比较典型的敞开式流浆箱。

图 2-3-24 是用于 1760 长网多缸造纸机的流浆箱示意图。生产凸版印刷纸, 造纸机车速 170 米/分, 流浆箱采用方锥管两段开孔多孔板进浆, 平底堰池, 采用两根匀浆辊作为整流元件, 使用喷浆式堰板。这种流浆箱结构简单, 占地面积只有 1.5 米², 在生产过程中堰池的水位比较稳定, 纸料分布比较均匀, 纸页横幅定量差不超过 2%, 纸张的匀度比较好, 因而是一种效果比较好的流浆箱。有的这种型式的流浆箱, 采用阶梯扩散器代替两段开孔的多孔板, 也取得比较好的效果。阶梯扩散器的规格为: 第一级 $\phi 12 \times 45$ 毫米, 第二级 $\phi 20 \times 55$ 毫米, 第三级 $\phi 35 \times 75$ 毫米, 以 42.8 毫米为等边三角形, 构成梅花形排列。

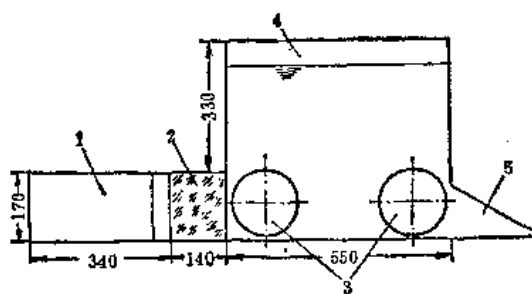


图 2-3-24 用于 1760 长网造纸机的敞开式流浆箱

1—方锥形总管 2—两段开孔多孔板 3—匀浆辊 4—堰池 5—喷浆式堰板

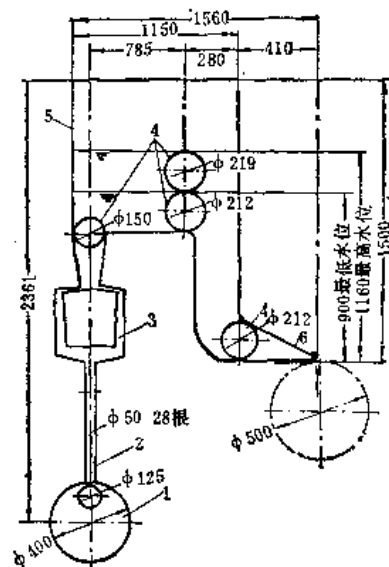


图 2-3-25 用于 3150

长网造纸机的敞开式流浆箱

1—圆锥形总管 2—支管 3—双冲击式节流扩散器 4—匀浆辊 5—堰池 6—结式堰板

图 2-3-25 是适用于 3150 长网多烘缸造纸机的流浆箱示意图, 生产新闻纸, 造纸机

车速 300~330 米/分。流浆箱采用多管进浆布浆器，双冲击式节流扩散器，用四根匀浆辊作为整流元件，使用结合式堰板。这种流浆箱纸料流动较稳定，能够比较好的分散纤维，在车速达到 300~330 米/分的情况下，使用效果比较好。

(2) 封闭(气垫)式流浆箱：封闭(气垫)式流浆箱也有多种结构形式，这里介绍有一定代表性的两种。

图 2-3-26 所示的是用于 3940 长网多缸造纸机的一种封闭(气垫)流浆箱，抄造凸版印刷纸，适应车速范围为 250~600 米/分。这种流浆箱的特点是采用多管进浆布浆器，双冲击式节流扩散器，用 5 根匀浆辊作为整流元件，堰池浆位较高(700 毫米)，流速较低，设有前墙溢流装置和垂直式堰板。流浆箱的结构较复杂，这种流浆箱调节比较方便，纸页的横幅定量差比较小。但由于采用垂直式堰板，喷浆压力较小，着网点靠近胸辊中心线，纸料一上网就较大量脱水，从而对纸页的匀度有所影响。

图 2-3-27 所示的是一种较新型的封闭(气垫)流浆箱，这种流浆箱可用于车速较高、抄宽较大的长网造纸机。这种流浆箱的特点，是采用效率较高的管束布浆器，平底堰地，堰池浆位较低，浆流速度较快，用两根匀浆辊作为整流元件，使用结合式堰板，并配有溢流装置。这种流浆箱调节方便，使用效果较好。

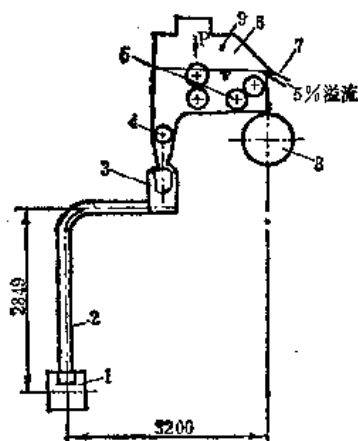


图 2-3-26 用于 3940 长网造纸机的封闭(气垫)流浆箱

1—总管 2—支管 3—双冲击式节流扩散器 4—匀浆辊 (φ250 毫米) 5—匀浆辊 (φ350 毫米) 6—堰池 7—溢流装置 8—胸辊 9—喷水管

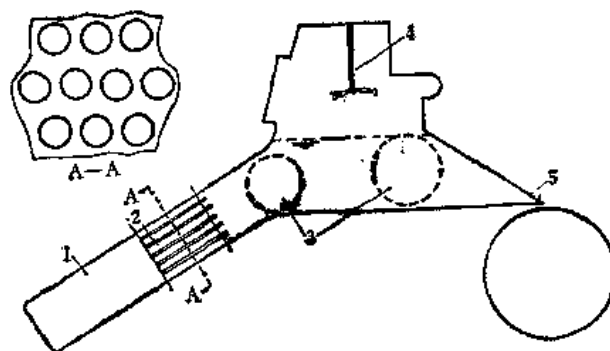


图 2-3-27 封闭(气垫)式流浆箱

1—方锥形总管 2—管束 3—匀浆辊 4—旋转喷水管 5—结合式堰板

(3) 满流式流浆箱：满流式流浆箱有多种型式，这里主要介绍阶梯扩散器流浆箱和集流式流浆箱。

① 阶梯扩散器流浆箱：阶梯扩散器流浆箱的结构，如图 2-3-28 所示。这种流浆箱在结构上最主要部分是：(i) 方锥管分布总管，纸料由其侧面进入阶梯扩散器；(ii) 阶梯扩散器，它把纸料沿机宽均匀地分布，并产生微湍动，以分散纤维的絮聚；(iii) 喷浆式堰板，在堰板和扩散器间的空间中，纸料流速和浓度沿纸横向被均布。调节流浆箱能影响成品的特性；调节 A，首先能调节喷浆的效果，其次，纸机横向定量分布，也能借精细调节堰板开口而得以纠正；调节 B，按浓度变化上唇板能上、下摆动调节，并可

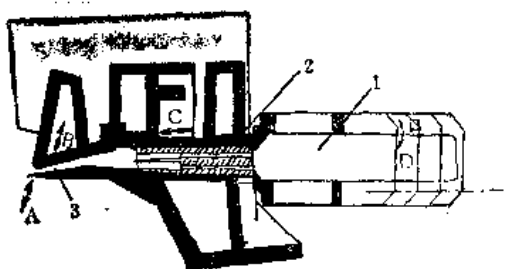


图 2-3-28 阶梯扩散器流浆箱
1—方锥形总管 2—阶梯扩散器
3—喷浆式堰板

也可以生产 13~18 克/米²的薄纸；这种流浆箱结构简单，体积小，重量轻，可用于长网造纸机，也可用于圆网造纸机。

② 集流式流浆箱：图 2-3-29 所示的是用于 Bel-Baie II 型夹网造纸机的集流式流浆箱，这类流浆箱也可适用于长网造纸机。

集流式流浆箱由矩形分配管、管束、扩散区、层流区和唇板组成。层流区前有一多孔板，在每排孔眼之间镶有一飘片，将纸料分为若干层，在距离喷嘴不远处会合，而后喷出。层流区结构示意图，如图 2-3-30 所示。

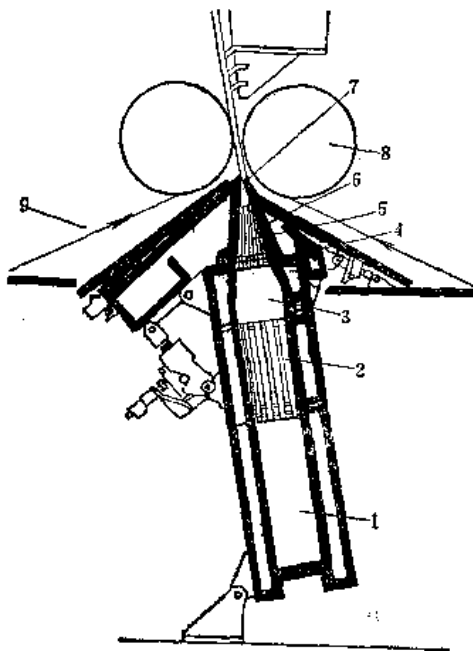


图 2-3-29 集流式流浆箱示意图
1—矩形分配管 2—管束 3—扩散区 4—
多孔板 5—飘片(塑料薄片) 6—层流区 7—
唇板 8—胸辊 9—闸子

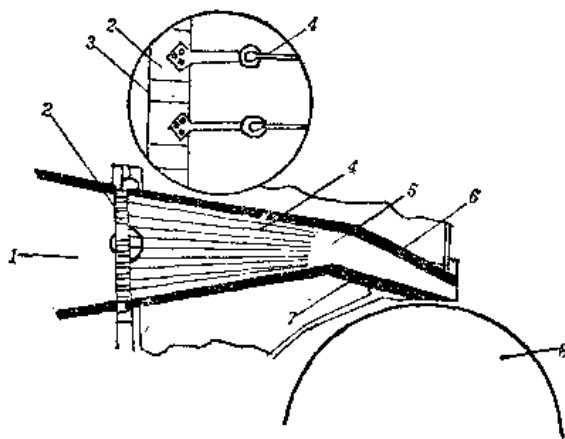


图 2-3-30 集流式流浆箱层流区示意图
1—扩散区 2—多孔板 3—孔眼 4—飘片(塑
料薄片) 5—层流区 6—上唇板 7—下唇板
8—胸辊

这种流浆箱，由于作为整流元件的管束，能够产生强度大的微湍动，加之在层流区，由于飘片所隔开而分成的许多互相平行的全幅宽收敛流（这些收敛流的厚度在隔开的夹缝进口处约为 25 毫米，然后逐渐缩小，到出口处仅约为 3 毫米，通过这样小的间隙出口，纸料形成剧烈的剪切力，将纤维的絮聚体分散，又防止大湍动的产生，出口间隙越

小时，纤维分散程度就越高)，因而能够比较有效地分散纤维，并保证上网纸料的均匀分布，形成的纸页横幅定量均匀稳定。

集流式流浆箱的优点，是没有转动的匀浆辊，因而结构紧凑，体积小，维修工作量小，由于上网纸料均匀稳定，因而唇板在一般情况下不需要调节。形成的纸页的匀度好，因此广泛地用于夹网造纸机和速度高的长网造纸机。这种流浆箱在安装和使用过程中，要注意消除造纸机前的纸料系统的某些不适当的脉动（这些脉动是由于混合泵、筛、管路和阀门的特性或排列不适当而产生的）和造纸机的振动对流浆箱的影响，在安装流浆箱时，应将流浆箱安装在类似压光机基础一样的坚固基础上。此外，还应注意减少周围温度对唇板和飘片的影响而造成的变形，飘片也存在能够吸引树脂的问题。

(4) 满流气垫结合式流浆箱：有代表性的满流气垫结合式流浆箱有 W 型 高端动流浆箱和涡流喷嘴式流浆箱等几种。

① W型高端动流浆箱：W型 高端动流浆箱的构造，如图 2-3-31 所示，这种流浆箱，一般用于高速长网造纸机，也可以用于夹网造纸机。

进入流浆箱锥形总管的纸料，沿着造纸机的横向，以大致相同的压力送入第一组管束，经中间的混合室，转向第二组管束，再由第二组管束，通过堰板室喷到网上。压力和控制，是应用一般封闭气垫流浆箱所采用的，气垫调压和溢流控制的方法，可以除去泡沫和消除某些脉动，并可取消流浆箱前的气垫稳浆箱。

② 涡流喷嘴式流浆箱：涡流喷嘴式流浆箱的构造，如图 2-3-32 所示。

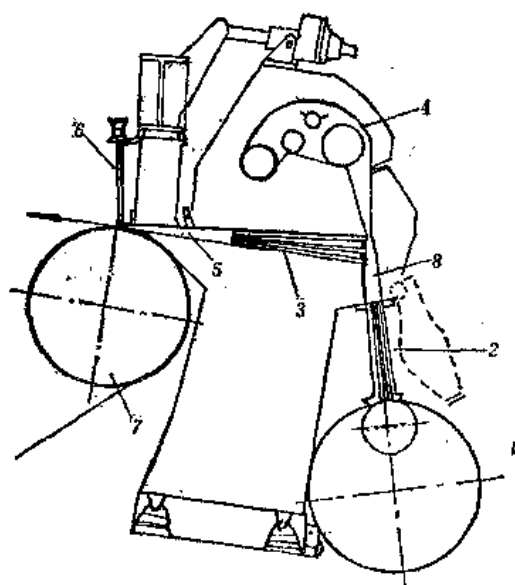


图 2-3-31 W型 高端动流浆箱
1—分布管道圆锥形总管 2—第一组管束 3—第二组管束 4—气垫箱 5—堰板室 6—上唇板调节机构 7—胸辊 8—中间混合室

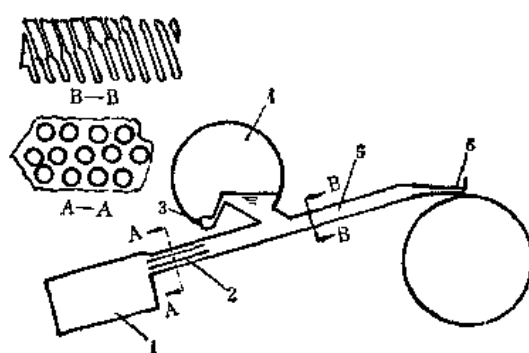


图 2-3-32 涡流喷嘴式流浆箱
1—方锥形总管 2—管束 3—溢流槽 4—气垫平衡箱 5—湍动区 6—结合式堰板

纸料由方锥形总管均匀地进入管束，在管束和湍动区的板栅使纸料产生微湍动后上网。这种流浆箱，设有气垫平衡箱和溢流槽，有一定的溢流量，可以排除泡沫和减少脉动。

二、网 部

(一) 概述

1. 网部的作用

网部是造纸机的主要部分，在造纸过程中，要求网部形成均匀的湿纸页，并脱去纸料带进来的绝大部分的水。

湿纸页的形成，是纤维逐步沉积到网上，并互相错综交织形成一个薄层的结果。形成均匀的湿纸页，要求纤维均匀分散、纵横交织，填料、胶料和其他的添加物质均匀分布，整个纸幅的定量、厚度、紧度、匀度、强度和其他有关的性能指标均匀一致，这是生产质量好的纸张的很重要的因素。由于在一般情况下，造纸机的上网浓度只有0.1~1%，而离开网部的湿纸页的干度可达到8~22%，因而，网部的脱水量占造纸机总脱水量的95~98%。纸张的品种、纸料的性质、原料配比、造纸机的结构（尤其是网部的结构和形式）和抄造条件等因素，对网部的脱水有较显著的影响，因而在生产过程中必须合理地控制。几种品种的纸张和几种型式的造纸机，在抄纸过程中各部分的脱水示例，如表2-3-7所示。

表 2-3-7

几种品种的纸张和几种型式的造

造 纸 机 型 式	纸 张 品 种	配 比	车 速 (米/分)	净 纸 宽 (毫米)
单网单缸造纸机	40 克/米 ² 有光纸	100%亚硫酸盐法苇浆	100~110	1880
双网单缸造纸机	60 克/米 ² 单面胶版印刷纸	45%木浆 55%苇浆	60	1760
双网双缸造纸机	52 克/米 ² 凸版印刷纸	100%麦草浆	103	1575
长网多缸文化纸机	52 克/米 ² 凸版印刷纸	100%亚硫酸盐法苇浆	157~165	2362
长网多缸文化纸机	52 克/米 ² 凸版印刷纸	100%硫酸盐法苇浆	212	3150
长网多缸文化纸机	52 克/米 ² 凸版印刷纸	100%亚硫酸盐法苇浆	238~290	3150
长网多缸文化纸机	60 克/米 ² 双面胶版纸	50%木 浆 50%稻草浆	120~130	1760
长网多缸新闻纸机	51 克/米 ² 新闻纸	18%化学木浆 82%机械木浆	315	3150
长网多缸新闻纸机	51 克/米 ² 新闻纸	20%化学木浆 80%机械木浆	460~470	3940
长网多缸薄页纸机	30 克/米 ² 特号打字纸	30%化学木浆 70%苇浆	100	1380
长网多缸电容器纸机	10 微米 电容器纸	100%绝缘木浆	45.4	1380
长网多缸纸袋纸机	80 克/米 ² 纸袋纸	100%硫酸盐木浆	380	4080

2. 网部的类型

网部的类型，大体上可以分为长网、圆网和夹网等三大类型。长网和圆网是目前用得最广泛的两种型式，夹网在最近10年来在技术上有重大的发展，目前在造纸技术领域已占有重要的地位。

(二) 长网

1. 长网部纸页形成和脱水的过程及机理

(1) 长网部纸页形成和脱水的过程：直到目前为止，长网是一种最重要的网部形式。在长网部纸页形成和脱水的过程中，纸料从流浆箱堰板的喷浆口，以一定的速度和角度喷到长网的网面上，由于长网网下面的脱水元件（案辊、沟纹案辊、案板、湿式真

空箱、真空箱、真空伏辊)所产生的真空而造成的过滤作用,使得纸料中的纤维和添加物沉淀到网面上,而形成纸页。在一般情况下,这个形成和脱水的过程,大体上可以分为三个阶段,如图 2-3-33 所示。

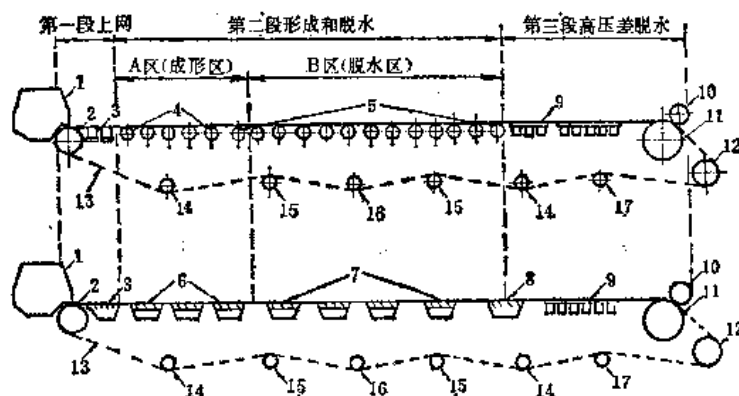


图 2-3-33 长网部纸页形成和脱水的过程

1—流浆箱 2—胸辊 3—成形板 4—沟纹案辊 5—案辊 6—低、中等脱水量的案板组 7—高脱水量的案板 8—低真空案板组 9—真空箱 10—上伏辊 11—真空伏辊 12—驱动辊 13—网子 14—校正辊 15—紧网辊 16—导网辊 17—第一导网辊

纸机在抄纸过程中的脱水示例

上网浓度 (%)	网下白水 浓度 (%)	各 部 分 干 度 (%)						备 注
		伏 辊 后	一 压 后	二 压 后	三 压 后	一烘缸后	成 纸	
0.3	0.05~0.06	10~11	30				93	采用真空引纸、复合压榨
0.2	0.024	11	25				94.5	
0.28		8	29.9			79.8	93.5	
0.5~0.6	0.2	20~21	33	35			95	
0.6	0.2	18.5	28	32	32.6		93	
0.7	0.23	17		32	34		95.5	
0.55~0.6		20~22	25~28	32~36	42~44		96~97	
0.7~0.8		20	28~31	38			93	
0.8	0.4	20~22	29~30	35.5~36.5			93	
0.3~0.4	0.1~0.15	18	30~32	33~35	35~36		93~95	
0.32	0.028	8	20.6	26.6			90.7	采用真空引纸
0.4		19~21	26.8	29			92	

第一段是上网段,在这一段,从流浆箱堰板喷浆口喷出的纸料与网面接触,网下面是成形板。如没有成形板的网案,则网下是第一根案辊。为了形成均匀的纸页,要求喷射到网面的纸料是均匀分散的纤维悬浮液,并且纸料喷射到网面时所产生的纸料自由表面的不稳定性,应减到最低限度。第二段是形成脱水段,在这一段,形成湿纸页,并脱去纸料带进来的大部分的水,经过这一段脱水之后,湿纸页的干度可提高到 1.8~3%,即在这个过程中,脱去纸料带进网部的 65~85%的水。这一段脱出的白水的浓度较高,称为高浓白水,其浓度大小,则随纸料性质、网案的结构(尤其是脱水元件的型式和排列)和抄造条件的不同而异。这一段又可以分为成形区(A区)和脱水区(B区)两区。为了保证纸页的匀度、减小纸页的两面差和解决跳浆等问题,成形区应有合理的脱

永率，脱水量应比较均匀，也不宜过大，因而车速较高的造纸机，在这一区使用沟纹案辊、小角度(1° 以下)的案板等脱水元件以控制脱水。当纸页成形已经基本完成，就可以大量脱水。因而在脱水区(B区)可以使用角度较大($3\sim 4^{\circ}$)的案板、案辊等脱水元件。第三段是高压差脱水段，在这一段，湿纸页已经成形，因而要通过比较高的压差来进一步脱水，这一段由真空箱脱水和伏辊脱水两个部分组成。在一般情况下，进到真空箱的湿纸页干度约为 $1.8\sim 3\%$ ，经过真空箱脱水之后，湿纸页的干度可以提高到 $10\sim 14\%$ ，这个过程的脱水量，约占纸料带进网部的水量的 $10\sim 25\%$ ，真空箱脱出的白水的浓度比较低，一般只有高浓白水浓度的几分之一，称为低浓白水，在真空箱脱水的同时，还能够把湿纸页压实。纸页经过真空箱脱水后，进到伏辊，进行进一步的脱水，这个过程一方面可以将湿纸页的干度由 $10\sim 14\%$ 提高到 $12\sim 22\%$ ；另一方面增加湿纸页的紧度和湿强度。

低速造纸机，由于车速低，网案形成脱水段的脱水元件(案辊、案板)所产生的真空很小，因而这一段的脱水主要是由于静压或重力脱水。

(2) 湍动与纸页成形的关系：如前所述，湍动对于上网纸料的絮聚和分散，以至纸页的匀度均有很大的影响，因而不但在纸料的流送过程中，要控制湍动，就是在网案形成纸页的过程中，控制湍动也是非常必要的。这是由于：

① 在一般情况下，长网造纸机的上网浓度为 $0.3\sim 0.9\%$ ，比临界浓度高得很多，因而纸料中的纤维互相交织而造成絮聚的现象。在纸料流送过程中，流浆箱产生的湍动虽然有一定的分散纤维的作用，但目前比较广泛使用的各种类型的以匀浆辊作为整流元件的流浆箱喷到网上的纸料，均有较严重的絮聚现象，因而在网案形成纸页时，产生必要的湍动以分散纤维是形成均匀的纸页所必须的。

② 新发展的高湍动满流式流浆箱等流浆箱，虽然在纸料流送过程中，能够产生高强度小规模微湍动，并且比较有效地打破纤维的絮聚，但从一些生产实践的经验指出：这些微湍动衰退甚快，以至于在通常的长网网案形成纸页之前，就可能开始再絮聚。

③ 在纸页形成并脱去大量的水之前，纸料在网案上流动的过程中，也能够产生絮聚的现象。

因此，在网案形成纸页和脱水的过程中，必须采用有效的措施控制湍动，以便有效地打破絮聚，并防止再絮聚，从而为形成单纤维互相交织、结构均匀的纸页创造条件。

网案上纸料的湍动，主要是由网下面的脱水元件(如案辊、沟纹案辊、案板、真空案板组)、网面上的喷水管和整饰辊以及网案振动等因素造成的。由网下面的脱水元件所产生的湍动的强度、范围和性质，在很大程度上，可以由网案上纸料自由表面的不均匀性反映出来，例如，网案上纸料自由表面上的条纹状浆流、涡流、气泡、跳浆等现象，就能够反映湍动的强度、范围和性质。从形成均匀的湿纸页的要求来看，网案的湍动以微湍动比较适宜，例如，以小规模涡流反映出来的微湍动，当涡流消散和重新形成的时候，纸料受到猛烈的剪切，这样就分散纤维，减小絮聚的规模，从而明显地提高纸页的匀度和强度。范围太大的湍动，能够造成网案上纸料的厚度不匀，导致纸页定量

的波动,并且还能够造成跳浆等问题,从而破坏纸页的形成。由此可见,合理的控制网案在形成纸页和脱水过程中的湍动,是非常重要的。可以通过合理地布置脱水元件、合理的网案振动和合理的使用喷水管和整饰辊等措施,来达到这个要求。例如,合理的布置网案形成脱水段的案板(案板斜面的角度由小到大),就能够在网案的这一段,产生足够的微湍动,使它能够在最大限度的打破纸料中的纤维絮聚物,并把上网纸料的波动所造成的影响,减到最低限度,从而形成均匀的湿纸页。使用长纤维粘状浆抄薄纸的低速造纸机,在网案的案板组间,使用一根案辊能够增加湍动,从而有助于打破纸料中纤维的絮聚。提高网案振动的频率,可以增加纸料中纤维与网之间的相对运动,从而可以减小纤维的絮聚,这些措施均有助于提高纸页的匀度。

2. 纸料的上网

如前所述,长网网案的第一段是上网段,这一段从堰板的喷浆口到成形板(没有成形板的网案,到第一根案辊)。为了形成均匀的纸页,在这一段必须合理地控制堰板的喷射角和纸料与网接触的着网点,正确地使用成形板,并根据纸张的品种合理地确定浆速和网速的关系。

(1) 堰板的喷射角和着网点:

① 堰板的喷射角和着网点的概念:

喷射角:纸料自堰板喷浆口喷出之后,由于重力影响成为抛物线的浆流与网接触,浆流喷射轨迹与堰板下唇之间的夹角称为喷射角,

图 2-3-34 所示的是结合式堰板的喷射角。

从图中可以看出:

$$\beta = \alpha + A$$

$$\alpha = \beta - A$$

式中 β ——触网角;

α ——喷射角;

A ——下堰唇倾斜角。

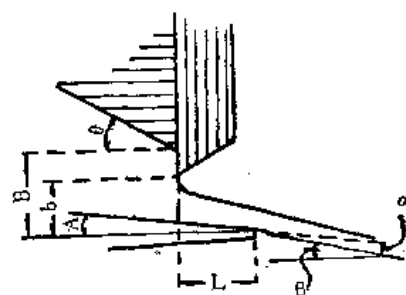


图 2-3-34 结合式堰板的喷射角

当 θ (喷嘴的角度) $=90^\circ$ 时,堰板的结构就成为垂直式堰板的情况。

收缩系数 $r=b/B$ 。

着网点:堰板喷浆口喷出的纸料与网接触的点。

② 堰板的结构与喷射角和着网点的关系:结合式堰板和垂直式堰板的结构与喷射角的关系,如图 2-3-35 所示,图中 90° 喷嘴的情况是垂直式堰板的情况。从图中可以看到,当 L/b 的比值比较小时,这个比例的微小变化会造成喷射角的明显变化,从而影响到纸页质量的变化,这个区域就称为灵敏区,如果堰板在灵敏区工作,就会出现某些实际的问题,这些问题是:

(i) 在堰板制作方面要求非常高的准确度,甚至堰板下唇板与胸辊之间的间隙的某些不均匀,也能在灵敏区造成不良的影响。

(ii) 要求堰板前墙的横梁有非常高的强度,使堰板前墙在浆流的内部压力下没有明显的变形。

(iii) 要求从流浆箱堰池进入堰板喷浆口的浆流非常均匀,这点对于一般用匀浆辊

作整流元件的流浆箱，是很难做到的。

根据上述的原因，因而在设计流浆箱的堰板和在生产过程中调节流浆箱的堰板出口时，应当尽量避免在灵敏区工作。根据一些经验表明，对于车速 364 米/分的造纸机， L/b 的比值以 1.0 左右比较适宜；而对于车速 850 米/分的造纸机， L/b 的比值以 1.2~1.3 左右为宜，这两种情况都是使纸料喷到网上时，着网点刚好在成形板的前缘。

对于没有垂直上堰板的喷浆式堰板，堰板喷浆口结构对堰板喷浆口喷出的纸料喷射轨迹的影响，必须采用图解法来表示，这个方法的特点，是堰板喷浆口喷出的纸料喷射

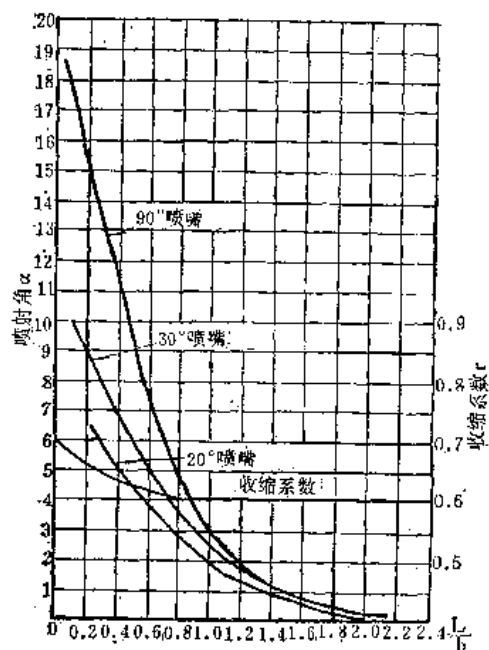
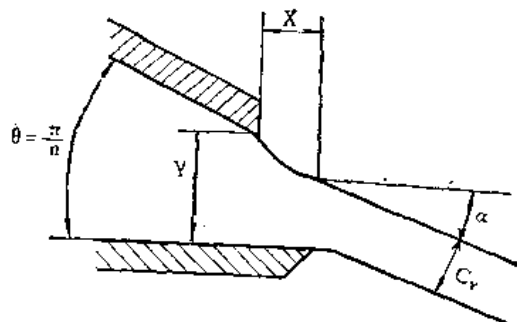


图 2-3-35 喷射角和堰板几何形状的关系

能够增加喷射角 α ，从而使着网点近一些。因而使用喷浆式堰板的造纸机，必须根据产品品种、纸料性质、造纸机结构和抄造条件等，来合理的确定堰板喷浆口的结构，以合理的控制喷射角和着网点，为形成均匀的纸页创造条件。

轨迹的上下流线坐标是用电子计算机计算的，并画在记录纸上。从计算的结果表明，具有垂直上堰板的堰板（如结合式堰板、垂直式堰板），是喷浆式堰板的一个特例，其特点是使用 90° 的上唇板。几种不同的唇板间角度（喷嘴角度）的喷浆式堰板的喷浆口结构与纸料喷射轨迹的关系的计算结果，如图 2-3-36 所示。图中 y 为堰板开度， θ 为唇板间角度（喷嘴角度）， α 为堰板喷浆口喷出的纸料喷射轨迹与水平线的夹角（喷射角）， x 为下唇板对上唇板伸出或收入的程度， C_y 为喷射浆流的厚度。从图中可以看到增加 x/y 的比值，可以降低喷射角 α ，从而使着网点远一些，并且减小 C_y/y 的比值，也即减小喷射浆流的厚度。在 x/y 的比值基本相同的情况下，增加唇板间的角度（喷嘴角度），能



堰板上唇板在角度 θ 提供一个与水平成 α 厚度为 C_y 的喷射浆流

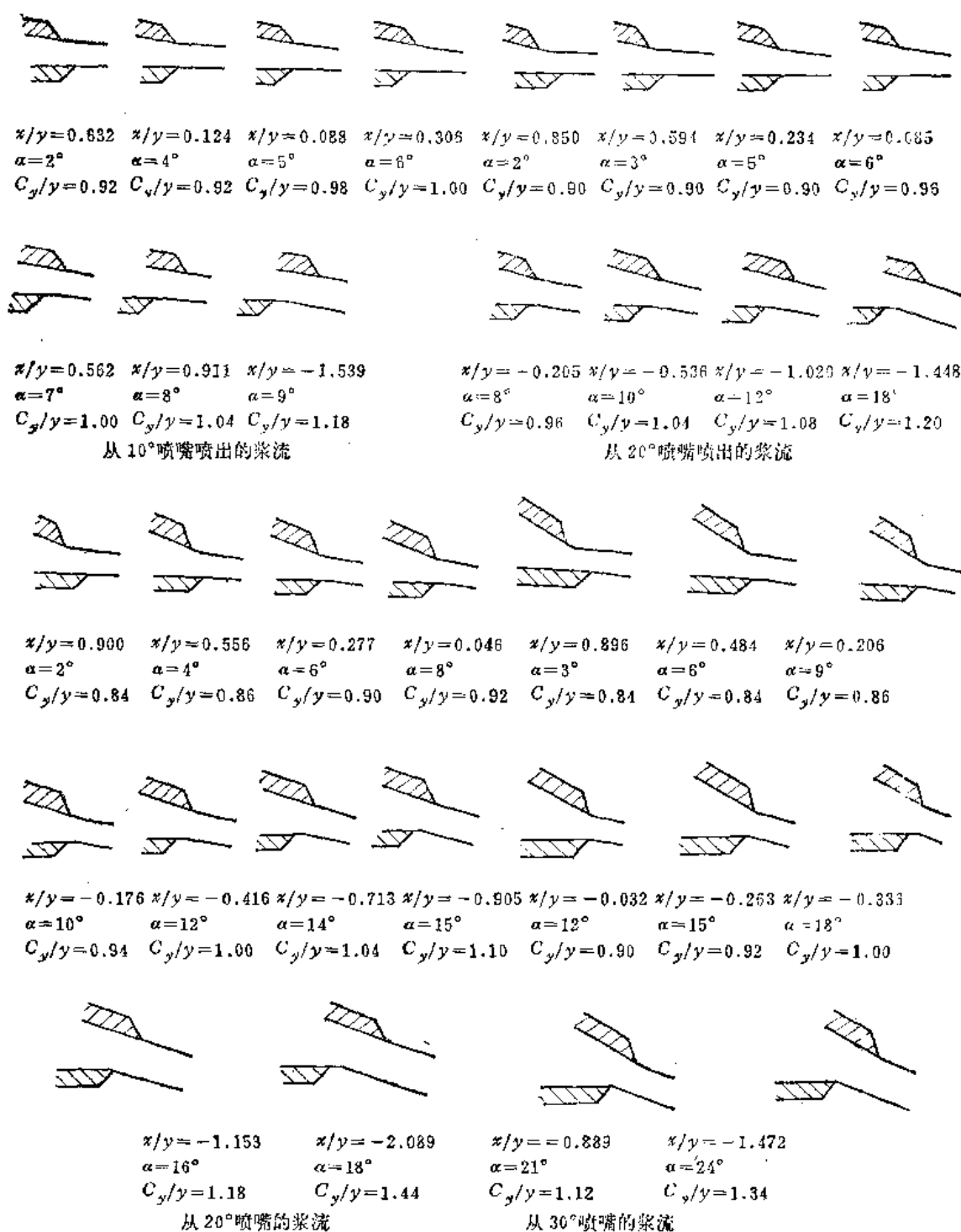


图 2-3-36 喷射式堰板喷射口结构与纸料喷射轨迹的关系

③ 喷射角和着网点对纸页形成和脱水的影响：喷射角和着网点对纸页的形成和脱水有较显著的影响，在一般情况下，喷射角越大，着网点就越靠近堰板喷浆口，图案的上网段(尤其是胸辊)的脱水就越强烈；喷射角越小，则出现与上述相反的结果。因此通过调节喷射角和着网点，可以控制纸页的形成和脱水的情况，根据一些试验的情况表明，

在一般情况下，浆流附着网点，以在成形板的前缘或前缘附近较为适宜，这样，一方面可以避免导致影响纸页成形的浆流的回流现象出现，另一方面，又可以避免网案上网段（尤其胸辊）过强烈的脱水，因为胸辊脱水太快，纤维会竖起来，影响纸张的强度，大量的细小纤维会在纸页成形之前被滤走，增加纸页的两面差，在造纸机车速比较高的情况下，又会造成跳浆等问题。如果纸料的着网点在成形板上，胸辊就不脱水了，这时喷浆的冲击作用虽较平稳，但随铜网带走的大量水，将易使纸料的自由表面产生纵向的条纹状浆流，相邻浆流并会互相冲击，从而有出现浆道子的可能，影响纸页的成形。但在某些情况下，如造纸机的车速低，上网纸料是滤水困难的粘状浆，网案的滤水能力不足等，则可将着网点比较接近胸辊，以增大胸辊的脱水量。

为了保证纸张的横幅定量均匀一致，沿着造纸机的横幅着网点应该是平直的，也即着网点在造纸机全幅宽上与胸辊中心线的距离是相等的。为了达到这个要求，造纸机全幅宽的喷射角必须相等，全幅喷出的浆流的厚度也应相等。如果不能保证上述的情况，而是一种不规则的状态，则在网部首先被冲击的一点上就先行脱水，在此处形成比较薄的浆层，其附近的纸料便向这里流动，最后在这里形成浆层较厚的地方，影响到纸页的匀度和横幅定量的均匀。保证沿着造纸机的横幅的喷射角和着网点均匀一致的措施，除了保证流浆箱堰板的喷浆口喷出的纸料的压头和速度，沿着造纸机的横幅均匀一致外，还要求唇板在结构上，必须达到下列的要求：

(i) 上、下唇板的边缘要锋利，不许有局部的缺陷，因为微小的局部缺陷，也会使喷到网上的浆流从这一点向两旁分岔，从而使着网点不均一；

(ii) 唇板的全幅应平直，不许有波浪形；

(iii) 唇板表面应光洁平坦。

(2) 浆速与网速的关系：浆速与网速的关系，是指纸料上网速度和造纸机网速的关系，可以用下列公式表示：

$$V_T = K_T V_c \quad (2-3-9)$$

式中 V_T ——上网纸料速度(米/分)；

V_c ——造纸机网速(米/分)；

K_T ——上网纸料速度(浆速)比网速滞后系数。

滞后系数 K_T 对纸页的形成和脱水以至纸张的质量(尤其是匀度和强度)，有较显著的影响。当 $K_T=1$ ，即浆速=网速时，由于浆速与网速之间的相对速度等于零，没有定向力，湍动的强度小，使得已经分散了的纤维在网上再絮聚，造成纸页上容易形成云彩花，成纸匀度较差。当 $K_T>1$ ，即浆速>网速时，由于浆速大于网速，纤维在网上横向排列的数目较多，但如果上网纸料比较游离，在网上的滤水速度较大时，就容易产生纤维卷曲或纤维垂直于网而排列的现象，从而造成在纸页上出现前进的波浪，因而只有在使用粘状打浆的纸料抄造某些薄纸(如卷烟纸)，以及要求伸长率大的纸张(如电缆纸)，才使用这种情况。当 $K_T<1$ ，即浆速<网速时，由于网速大于浆速，纸料喷上网之后受到网的加速作用，减少了纤维再絮聚的现象，形成的纸页的匀度也比较好。但网速与浆速的差别也不宜过大，这是由于在网速高于浆速的情况下，纸料的下层被网托着带走，纤维朝纵向排列，导致纸张纵向强度提高，但同时削弱了纤维的横向排列，降低纸张的

横向强度,两者速差越大时,纸张的纵横向强度差别也就越大。根据使用硫酸盐木浆抄造定量 83 克/米²的纸袋纸的试验表明(试验时造纸机的车速为 320 米/分):当 K_T 值为 0.98 时,纸张的纵向和横向裂断长最为接近,横向的裂断长也最高;随着 K_T 值的降低,纤维在网上排列的方向性增加,纵向裂断长增加,横向裂断长降低,纵向和横向裂断长的差别越来越大。另外一些试验也表明,浆速与网速差别越大时,形成的纸页的多孔性和柔软性也越差。此外在一般情况下, K_T 值对着网点也有影响, K_T 值越大,着网点也就越远。因此在生产过程中,必须根据纸张的品种、造纸机的车速和纸料的性质等因素来合理的确定 K_T 值,一般印刷纸书写纸为 0.83~0.93;要求纵横向强度比较接近的纸张(如纸袋纸) K_T 值可以略高一些;而要求纵向引伸强度大的纸张(如纸绳纸), K_T 之值可以适当低些。

(3) 胸辊和成形板的应用:

① 胸辊:胸辊在网案上是第一根辊子,网子在这里改换进行方向,胸辊是由网带动的,为了减少网带动胸辊的负荷,胸辊应该轻一些。但另一方面,为了保证纸页在胸辊上有良好的形成条件,使网在胸辊上正常运转,减少网在胸辊弯曲时所产生的应力,胸辊应有较大的刚度和较大的直径,因而胸辊是一根管辊。直径较小的胸辊可以采用无缝钢管镀铜结构(如 ZW4 型造纸机的 $\phi 400$ 毫米胸辊);直径较大的胸辊可以采用钢板镀铜结构(如 ZW10 型造纸机的 $\phi 650$ 毫米胸辊),镀铜厚度一般为 3 毫米;也有采用铸铜的,或钢板包硬橡胶的胸辊。胸辊直径一般为 400~800 毫米,造纸机宽度越大,胸辊的直径也越大。

② 成形板:成形板(组织板)的作用是控制网案上网段的脱水量,并支托着胸辊与第一根案辊(或第一组案板)之间的网子,以消除网案上网段的跳浆现象,合理使用成形板可以改善纸页的匀度。

目前常用的成形板是长缝型的,每块成形板由 1~5 条板条组成,板条的宽度第一条较宽,一般为 80~200 毫米,板条间的距离(板缝)一般不小于 40 毫米,每块成形板的总宽度一般为 100~500 毫米,在网案的上网段可以布置 1~3 块成形板(多数用一块),如采用两块以上的成形板,则第一块较宽,其他各块较窄。如 ZW10 型造纸机用两块成形板:第一块 430 毫米,第二块宽 200 毫米。成形板一般用硬橡胶复面,橡胶硬度为 90°(肖氏)。在结构上要求成形板在造纸机运转过程中应当稳定,没有任何振动,应有足够的刚度。板面沿机宽应水平,温度变化时不变形,板条前端应平整无翘曲,板面应耐磨损。

在成形板设计时,应注意成形板和胸辊的距离应当是可以调节的,以便适应工艺变化的要求。为了减少成形板的前缘和网的磨损,成形板的板面最好略低于胸辊的顶点,在某些情况下,如采用喷浆式上浆,成形板的前缘板应略低于网,与网保持 1.5~3.0 毫米的间隙,然后向上倾斜,使成形板末端板边低于网 0.75~1.5 毫米。

在选用成形板时,要注意到适用于一种品种和车速范围的成形板,对另外一些品种车速范围就不一定适合,因而,必须按照具体的抄造条件的要求,来选用成形板,才能取得最好的效果。

3. 纸页的形成和脱水

网案的第二段(形成脱水段),是湿纸页形成和脱水的主要阶段。在这一段,影响纸页形成和脱水的主要因素有:脱水元件的结构和应用、纸料性质和抄造条件、网案振动、整饰辊的结构和应用、网案上消除泡沫装置的应用等。

(1) 脱水元件的结构和应用:网案形成脱水段应用的脱水元件主要有案辊、沟纹案辊、案板、案板组、湿真空箱等几种。这些脱水元件的结构和排列,对于网案的脱水能力、细小纤维和填料等在网上的留着、纸页的两面性和匀度、纸张的质量等,均有较显著的影响。

① 案辊和沟纹案辊:

(i) 案辊的结构:案辊的作用是使纸料脱水和支承网子,是由网拖动的,在结构上,对案辊的要求是重量轻,转动灵活,有足够的刚度。案辊的直径,主要是根据其脱水能力来确定,一般为80~325毫米,造纸机车速越高,宽度越大,案辊的直径也越大。

案辊属于薄壁管辊,一般用无缝钢管制作,外包5毫米硬橡胶辊面层,硬度为肖氏 $98^{\circ} \pm 2^{\circ}$,包胶案辊有助于案辊脱水,减少网的磨损。

案辊上使用滚动轴承,并应有良好的密封装置,防止水分浸入,保证良好润滑。网对案辊只有很小的包角,牵引力也很小,使案辊的转速常常略小于网速,产生滑动,引起网的磨损,因此,要采取措施减少案辊转动的磨擦力矩。案辊通常使用不锈钢轴头,迷宫式密封和挡水板。

案辊的轴承座应有调整其高低位置的装置,以便于通过调整案辊的高低,使所有案辊均能与网均匀接触。为了便于根据需要调节案辊间的距离,案辊轴承座最好是装置在网案的纵向梁上。

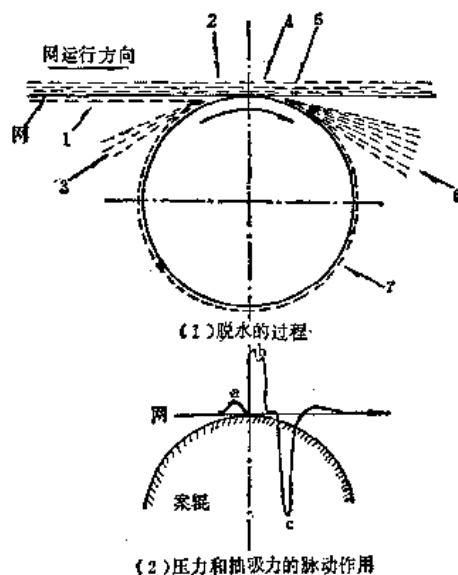


图 2-3-37 案辊脱水的过程及机理

(ii) 案辊脱水的过程及机理:案辊脱水的过程如图2-3-37(1)所示。

当网到达案辊时,附在网下的水(见箭头1)进到辊网之间,并向上进入部分成形的湿纸页(见箭头2)。这个扰动具有冲淡或松散纸页结构、并带走部分微细物质(细小纤维、填料)的作用。这两种作用对于纸页的进一步形成和纸页的最后性能,均有很大的影响。但是,由于网和湿纸页的重量,以及它们对水的穿透的阻力,有些在网下面的水被甩进到白水盆中(见箭头3),网和辊表面间的夹角从4点起继续增大。

在案辊下游夹区的脱水机理,是当案辊表面开始从网面拉开时,水附于辊与网双方,两个水面之间的间隙(即垂直方向的距离)是充满着水的,只要间隙非常小,辊面的向下行程网的作用象气缸中的活塞一样,并产生一个负压(即部分真空)。因网和网上的湿纸页是多孔性的,水就从部分形成的湿纸页上面的悬浮体中脱出来,并充满楔形夹区。在

脱水区内所有的水(包括以悬浮体中脱出的水, 通过部分成形的湿纸页和网的水, 在夹区本部内的水, 以及辊面上的水), 实际上以网速前进, 即图 2-3-37 网运行的方向。在网面和辊面之间的间隙很小时, 从左到右的水冲进, 就好象一个带有前墙的液柱, 它阻止空气透进来。然后当网和辊子之间的间隙达到 6.2 毫米时, 液柱变得不稳定并互解(见箭头 5), 同时产生脱水的真空就消失了。水柱分解成三个部分, 大部分喷到白水盆(见箭头 6), 一小部分附在网下, 并带到下一个辊子或到辊间挡水板, 余下的附在辊子上(见箭头 7), 并与向夹区而来的水汇合(见箭头 1)。

案辊脱水过程中, 案辊与网接点前后所形成的压力与真空抽吸力的脉动情况放大如图 2-3-37(2)所示。图中 a 处案辊向网压进水, b 处为压力高峰, 其位置刚好在案辊中心线之后, 这是由于辊子对网的反作用而造成的, 然后立即变为吸力, 最大真空度出现于 c 点, 由于真空抽吸力的作用而使案辊脱水。抽吸力的大小, 可按下列公式计算:

$$\Delta P = \frac{\rho V_c^2}{2} + \frac{2TV_c}{q} + \rho h \left(g - \frac{V_c^2}{r} \right) \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (2-3-10)$$

式中 g ——重力加速度(9.81 米/秒²);
 q ——单位案辊宽度每秒脱水量(厘米³/秒/厘米);
 ρ ——流体重度(公斤·秒²/厘米³);
 h ——在尖楔处的网上纸料水平的平均高度(厘米);
 T ——表面张力(公斤/厘米);
 V_c ——网速(厘米/秒)。

这个公式可以分为三项:

$\frac{\rho V_c^2}{2}$ ——动力压头

$\rho h \left(g - \frac{V_c^2}{r} \right)$ ——网上纸料层静压头

$\frac{2TV_c}{q}$ ——表面张力产生的压头

在造纸机车速比较高的情况下, 第二、三两项的值很小, 因而公式可以简化成:

$$\Delta P = \frac{\rho V_c^2}{2} \quad (2-3-11)$$

由于抽吸力与抽吸区的湍动情况有关, 湍动对最大抽吸力有影响, 因而公式可以写成:

$$\Delta P = K \frac{1}{2} \rho V_c^2 \quad (2-3-12)$$

K 的值由 1~1.4。

公式(2-3-12)指出, 抽吸力与造纸机网速的平方成正比, 造纸机车速越高, 抽吸力也越大。当车速超过 60 米/分时, 抽吸区开始有抽吸作用, 车速 150 米/分时, 抽吸力约 3.99×10^3 牛顿/米² (30 毫米汞柱); 车速达到 300 米/分时, 抽吸力增加到约 1.2×10^4 牛顿/米² (90 毫米汞柱); 车速进一步提高到 600 米/分时, 抽吸力达到 5.05×10^4 牛顿/米² (380 毫米汞柱); 当车速达到 840 米/分时, 抽吸力在理论上可以达到 1.01×10^5

牛顿/米² (760 毫米汞柱)。

(iii) 案辊对纸页形成和脱水的影响：如前所述，在案辊脱水过程中由于案辊与网接触运行而产生抽力，并出现压力一正一负的脉动作用，车速越高，脉动作用的强度就越大，对纸页形成和脱水的影响就越大。

由于在一般情况下案辊间有一定的距离，因而相邻的两根案辊产生的脉动作用是不连续的，在两个脉动之间，纸页只是由于重力的作用而支持在网上。两根案辊间的挡水板，不可能把附着在网下的水全部除去，残留在网底面的水就在脉动作用的正压时，从网底面返回到纸页中，即所谓的“白水逆流”作用，接着又受到强烈的真空抽吸作用，这种上升和下降的交替运动不但造成对纸页形成的扰动，并且还增加纸料流动和纸料流自由表面的不稳定性。在造纸机车速较低的情况下，这种作用比较温和，而适当的湍动和扰动，对于减少絮聚形成均匀的纸页是有好处的，尤其在纸料打浆度比较大、滤水性比较差、纤维比较长、纸张定量比较大的情况下。但随着造纸机车速的进一步提高，这种扰动和不稳定性显著增加，加之车速高抽吸力大而造成的高脱水率，就形成强烈的洗出作用，使得纸页网面的细小纤维和填料流失较大，增加了纸页的两面性，并由于纤维吸进网目而造成纸页上的网痕，而且还使脱出的网案白水浓度高，网案的流失率大，特别是在纸料比较游离、填料含量比较高、纤维比较短的情况下更为严重。在一般情况下，新闻纸的流失率达到 60%；凸版印刷纸、胶版印刷纸达到 50%；纸袋纸达到 25%，其结果不但增加纤维和填料的循环量，而且还增加纤维和填料的流失。对于电容器纸，高的流失率还显著的增加电容器纸的针眼，降低产品质量。

在造纸机车速较高的情况下，案辊产生的强烈真空抽吸作用，不但造成强烈的脱水，而且使网跟着案辊有下陷的现象，从而使得纸料内部发生强烈的扰动和纤维分布不均匀的现象，并在浆流的自由表面出现大的波动运动。这种波动运动还能够造成跳浆的现象，从而破坏纸页的形成，特别是在使用塑料网的情况下，跳浆现象更为突出。这是由于塑料网比磷青铜网软、网较显著地易于包复在案辊上，而造成网下陷和跳浆的现象。而且，在生产中还发现高压力和高真空的脉动作用，造成塑料网的局部伸长大和塑料网的破裂均显著地大于磷青铜网的问题。

此外案辊还存在有：当案辊尺寸、排列和车速决定后，案辊的脱水作用不能再调节的问题。

为了解决案辊的上述问题，近年来在长网造纸机上，广泛地采用其他种类的脱水元件，取得较好的效果。

(iv) 沟文案辊：沟文案辊的结构与普通案辊相同，只是在辊面车制有平行的沟纹，以减少案辊的抽吸力。在一般情况下，沟文案辊的脱水量只有案辊的 $1/2 \sim 1/10$ ，沟文案辊一般是与案辊、案板配合起来使用，主要用于网案形成脱水段的成形区，以降低成形区的脉动作用和脱水率，改善纸页的形成状况和匀度。

至于沟纹的形状，可以根据脱水率的要求来选择，在一般情况下，沟越宽，齿越狭，脱水率就越低。用于生产一般的纸张(如凸版印刷纸、新闻纸)，沟宽可以选用 5~7 毫米，沟深 2~3 毫米，齿宽 2~3 毫米。

② 案板：

(i) 案板脱水的过程及机理：案板是一种固定的脱水元件，脱水性能比较好，近年来得到广泛的应用。

案板脱水的过程，如图 2-3-38 (1)所示。

当网到达案板的前缘时，附着在网下面的水被案板的前缘刮去(见箭头 1)，在这一段，如果案板的水平部分(前缘平面)装得不完全水平，或者网的张力不足以把网正确地跨上案板的前缘，都会较明显地影响案板前缘的刮水效果，从而显著地降低案板的脱水量，网下水层被刮去之后，网和前缘平面开始接触，由于案板前缘平面和水的湿润作用产生了吸附力，因而在网下和平面间产生一层很薄的水膜，这层水膜虽然很薄，但对以后的大量脱水则是很重要的。

水膜形成之后，在点 2 (见箭头 2)进入了案板的脱水倾斜面，开始时由于网和网面上的湿纸层的重量使网随着案板的倾斜面的倾斜路线行进，但到达某一点(见箭头 3)时，网的张力又使网再次达到水平，这样就在网和案板的倾斜面之间形成一个楔形区，倾斜面与网面的距离逐步增加，但由于水分子之间的内聚力作用，水膜并不马上分离，这时的脱水过程的机理，如图 2-3-39(1)所示。

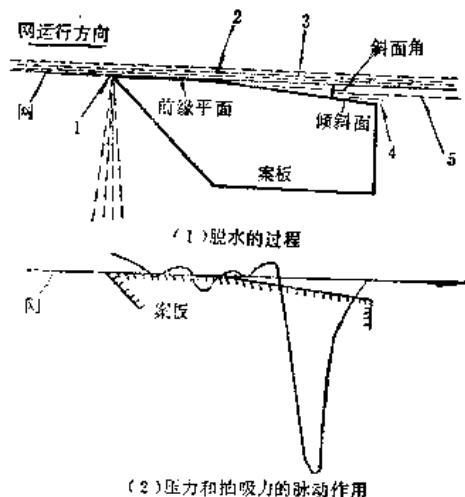


图 2-3-38 案板脱水的过程及机理

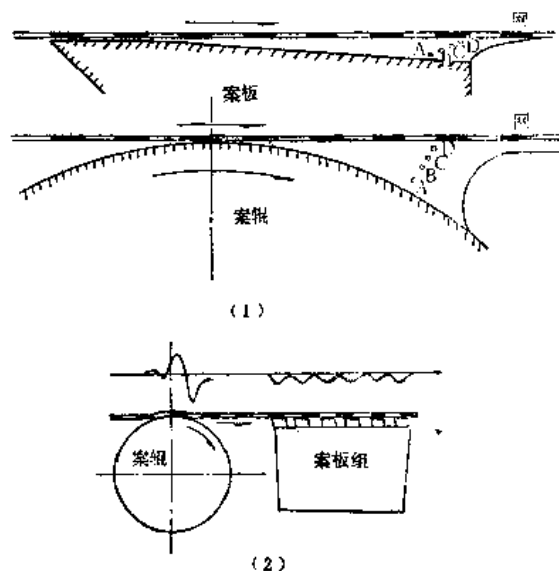


图 2-3-39 案板和案辊脱水机理比较

沿着倾斜面走的水膜 A，在走一段短距离之后，就拉下了和它相邻的水膜 B，B 又拉下 C，C 又拉下 D，由此可见，脱水作用是从网上拉下一系列的水膜。但含 A 的膜是沿着静止的倾斜面慢慢运动的，B 膜又比 A 膜快些，C 膜又比 B 膜快些，直到和网下相邻的膜接近了网的速度，从这里可以看到，案辊脱水与案板脱水是不同的：在案辊脱水的过程中，由于网和案辊线速度接近一致，因而在楔形区中水膜几乎没有什么速度差，如果有也很小，因而在案辊和网间水膜可以很快地脱去；案板则由于水层中有速差的存在，因而脱水速度较慢，仅为案辊的 1/4 至 1/3。

当水层快离开案板倾斜面的边缘时[见图 2-3-38 (1)箭头 4]，破坏了水和倾斜面的吸附力，在很高网速下，水的内聚力改变了水的向下重力，因而有一大部分的水被吸附

在网下, 这层水被网加速带走[见图 2-3-38 (1)箭头 5], 再由下一个案板的前缘刮去。在网上面的大气压加上网上纸料层的轻微水压, 大于脱水倾斜面上的压力, 这个压力差造成向下的脱水力, 因而为了得到较好的脱水效果, 在设计案板时, 必须合理地确定案板倾斜面的角度和脱水区的高度。

由于在案板脱水的过程中, 从网的下面到静止的案板倾斜面之间有很多层速度不同的水膜, 这些水膜内存在着速度差, 也即在水膜内部存在着剪切力, 并且由此产生很多小的涡漩, 也就是在脱水过程中有微湍动存在, 这样就有助于使网上的纸料产生相应的微湍动, 因而有助于改善纸页的成形, 但正由于剪切力的作用, 也使网向前运转时要克服它, 使网发生拖力。

在案板脱水的过程中, 案板与网接点前后所形成的压力和真空抽吸力的脉动情况, 如图 2-3-38 (2)所示。

图 2-3-38 (2)是在车速 590 米/分、案板的斜面角为 3° 的情况下测定的, 从图中的脉动曲线可以看到两个特点: 一个是案板没有压力最高点, 其原因是由于案板的前缘在与网接触时, 已将网下面的水刮去, 而不存在水压到网和纸页上去而出现压力最高点的问题; 另一个特点是, 案板的真空抽吸区比较长, 真空度也比较低, 例如在车速 590 米/分的情况下, 3° 斜面角的案板的抽吸力为 1.2×10^4 牛顿/米² (90 毫米汞柱), 而案辊则约为 4.92×10^4 牛顿/米² (370 毫米汞柱)左右, 这是由于案板固定不动、脱水的楔形区的角度又比较小造成的。因此与案辊相比较, 案板具有真空区比较长和真空度比较低的脉动作用, 且相邻案板的脉动也能够比较紧密地连接在一起, 如图 2-3-39(2)所示。

案板的脉动的强度与造纸机车速的平方成正比, 与案板的斜面角和结构形式也有关系。案板斜面角度越大, 脉动的强度也越大。因此, 随着造纸机车速的提高和斜面角的增大, 案板的脱水量和湍动水平也相应提高, 因此必须根据造纸机车速和产品的品种, 以及质量要求等因素来合理地确定案板的结构和几何尺寸(案板斜面角度、案板长度等), 使案板达到最适宜的脱水率, 跳浆减到最低限度, 产生促进纸页成型的微湍动, 并把网的牵引负荷减到最低限度等目的, 为形成匀度好、质量好的纸页创造条件。

(ii) 案板的结构:

a. 案板的形式: 案板的基本形式如图 2-3-40(1)所示。

前缘平面和前缘角: 前缘平面的长度一般为 10~15 毫米, 前缘角 β 一般为 $40^\circ \sim 60^\circ$, 前缘角 β 的大小, 能够影响到案板前缘刮去附在网下面的白水的效率和防止前缘卡浆的问题, 因而要合理确定。

倾斜部分长度和斜面角 α : 斜面角是案板斜面与网的夹角。如前所述, 斜面角和倾斜长度对案板的脱水特性有显著影响, 增大斜面角和倾斜长度, 均能提高案板的脱水量, 但又增加了脉动的强度, 因而, 必须根据造纸机的车速、纸料的滤水性能、案板安装的位置等因素来合理确定。用于高速造纸机的案板的斜面角要适当小一些, 一般用 $1^\circ \sim 3^\circ$; 而用于低速造纸机(尤其在纸料的滤水性能较差的情况下)的案板的斜面角可适当大一些, 一般可用 $2.5^\circ \sim 4^\circ$ 。对于一台造纸机网案上案板的排列, 在成形区要使用斜面角较小的案板, 而在脱水区则可以使用斜面角较大的案板。至于倾斜部分的长度, 一般以 30~60 毫米为宜, 用于成形区的可以短一些, 而用于脱水区的可相对长一些。

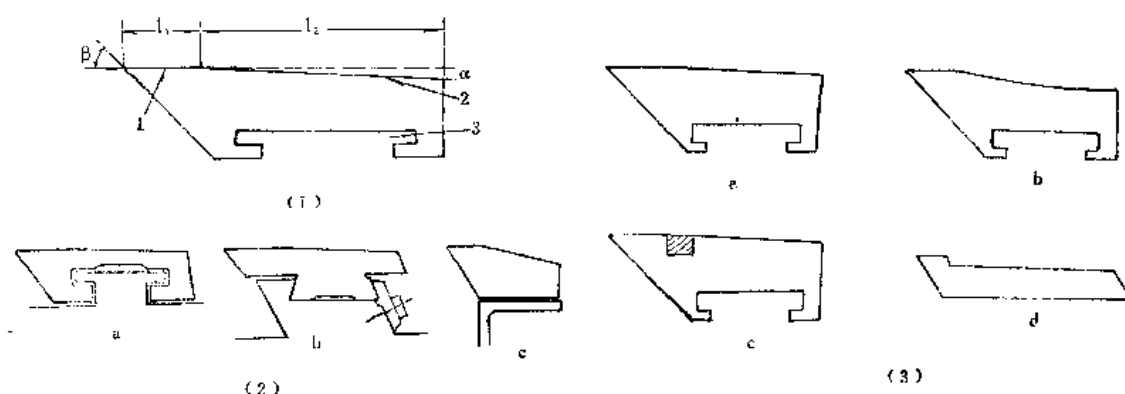


图 2-3-40 案板的结构型式

(1) 案板的基本型式 β —前缘角 l_1 —前缘平面长度 l_2 —斜面长度 1—前缘平面 2—斜面 3—T形槽；(2) 案板安装方法 a—滑动法 b—固定法 c—粘接固定法；(3) 案板的型式 a—规则型案板 b—S型案板 c—镶碳化钨案板 d—非线性案板

目前使用的案板有多种型式，比较典型的几种如图 2-3-40 (3) 所示。

图中 a 是规则型案板，是案板的基本型式，是目前用得较广泛的一种典型的案板。b 是 S 型案板，其特点是案板的倾斜部分是一个弧形面，这种案板的设计，是根据网在规则型案板上脱水时，不仅只在前缘平面与网接触，而且在倾斜面的前段也和网接触，因而增加网和案板之间拖动的功率，并减少了脱水的面积。为了解决这个问题，将倾斜面改为弧形面，可以避免网与脱水平面的接触，从而减小拖力，并增加脱水面积和脱水效率。图中 c 是镶碳化钨的案板，其特点是在案板的前缘平面稍后处加一碳化钨窄条，以防止磨损，并延长案板寿命。从试验中发现，案板的前缘平面稍后处，是案板磨损最严重的地方，因此碳化钨条应嵌在这个位置。也可以采用一窄条不锈钢上喷涂约 1 毫米厚的碳化钨，来代替整条的碳化钨。

图中 d 是非线性案板，这种案板的特点，是案板的脱水平面是由一个小的前缘平面和接着的一个阶段下降区域所组成，案板的叶片装在密封的箱中，必须依靠箱中提供的低真空度[一般不超过 2.33×10^3 牛顿/米² (230 毫米水柱)]来脱水，如果外界提供的真空度一停止，这种案板就没有脱水作用。非线性案板的脱水机理，如图 2-3-41 所示。

当网通过前缘平面后(见箭头 1)，由于真空作用使网下降到接近案板的阶梯区表面(见箭头 2)，这样在网和阶梯区之间就形成一个水力夹区，由于真空和水力夹区的作用结合起来，就能够产生脱水的作用，而当网向上运动时(见箭头 3)，网上的纸料得到一个微湍动。真空度越大，网就下降到越接近阶梯区的表面，脱水效果就越大，同时在水力夹区后又造成网的较大的向上运动，从而造成网上纸料较大的微湍动。这种案板用于生产用粘状浆抄纸的低速造纸机(如防油纸、半透明包装纸)时，能够显著地提高网部的脱水能力，从而可以大幅度地降低上网纸料

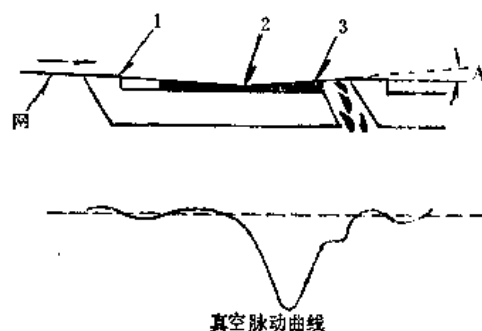


图 2-3-41 非线性案板脱水机理

的温度,节约蒸汽消耗。即使在较高的上网浓度的情况下,由于这种案板可以产生可控的微湍动,因而也可以形成匀度较好的纸页。

案板的安装方法如图 2-3-40(2) 所示,有固定法和滑动法两种。滑动法(a)是把案板的叶片安装在一个 T 型的滑槽内,固定法可以使用螺钉把案板的叶片安装在支架上(b),或用粘合剂(如聚胺酯粘合剂还氧树脂),将案板的叶片(如用橡胶或塑料制作的叶片)粘合在钢制的支架上。

b. 案板的材料:由于案板的形状和几何尺寸对案板的使用性能有显著的影响,因而案板在制作上要求有较高的准确性。案板在使用过程中的磨损和损伤造成的缺陷,能够降低案板的脱水性能和产生微湍动的能力,并对纸页的匀度造成不良的影响(如在纸页上出现条纹),因此选择合适的案板材料是很重要的。案板的材料是当前影响我国案板大量推广的关键因素之一。案板对材料的要求:一是材料的抗磨性好,这样使用时间较长,斜面角不会改变;二是对网的磨损要小。

我国目前使用的案板材料有含 3~5% MoS₂ 的硬橡胶(硬度 90°肖氏)、高密度聚乙烯、金属陶瓷、聚甲醛、酚醛树脂布质层压板、硬杂木板等多种,其中以含 3~5% MoS₂ 的硬橡胶、高密度聚乙烯和陶瓷的使用效果较好。从发展看,还可以研究采用喷镀碳化钨、聚酚氧、氯化聚醚、聚双马来酰胺等材料制作案板。国外,目前比较广泛使用高密度聚乙烯和金属陶瓷制作的案板。

(iii) 案板对纸页形成和脱水的影响:与案辊相比,案板在脱水过程中具有下列优点:真空区比较长和真空度比较低的脉动作用,且相邻的案板的脉动又比较紧密的连接在一起,案板的前缘又能够把附着在网下面的白水刮去等。因而可以消除在案辊脱水过程中出现的“白水逆流”作用、强烈的洗出作用、强烈的湍动与扰动作用,从而提高了细小纤维和填料的留着率,减少纸页的两面性和网痕,并改善纸页的匀度和质量。例如,电容器纸机使用案板代替案辊可以降低电容器纸的针眼。由于真空抽吸作用低于案辊,因而在造纸机车速较高的情况下消除了跳浆的问题。

由于在同一网案长度内,安装案板的数量可以比安装案辊的数量多几倍(例如在装一条案辊的长度范围内,可以装 3~4 块案板),因而虽然每一块案板的脱水量只有案辊的 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$,但在同一网案长度,案板的总脱水量就比案辊大多了。

此外,案板与案辊相比较,因案板是固定的,从而克服了案辊在转动过程中,由于产生振动而造成的脱水不均匀的问题,案板还比案辊便于调节。

由于案板具有上述的优点,因而是一种得到广泛使用的性能好的脱水元件,可以用于各种类型的长网造纸机。案板一般是以 2~6 片组合为一组使用,也可以以片为单位使用。

(iv) 真空案板:真空案板是在案板下用低真空的真空箱帮助脱水,这种真空案板组可以放在真空箱之前,作为向真空箱过渡的措施。

③ 湿真空箱:湿真空箱的构造示意图如图 2-3-42 所示。

湿真空箱的特点是使用低真空度,其真空度一般在 $3.04 \sim 10.13 \times 10^3$ 牛顿/米² (0.3~1 米)水柱之间,真空度通常采用鼓风机来控制。低真空度的作用,除了增加脱水量外,还能够使网下有一层游离的空气间隙。湿真空箱的箱面可以采用孔形的或长条形的真

空箱箱面,开口面积为50~90%,沿着开口面积具有低和稳定的真空,因而可以保证连续的和基本上没有扰动的、微湍动的脱水。在用于长网网案的各种脱水元件中,湿真空箱是细小纤维和填料留着率较高,纸页的两面性较小的一种脱水元件。

④ 挡水板:在造纸机车速比较高(例如300米/分以上)的情况下,案辊脱出的水在离心力的作用下抛向下一个案辊上,从而影响到下一个案辊的脱水,因此在案辊之间装设挡水板。

挡水板有几种型式,新设计的造纸机多采用双面挡水的Y型挡水板(如图2-3-43所示),这种挡水板的上沿与网面接触,可以清除因表面张力附着在网下面的水,并且还有承托网的作用,使用效果比较好。

⑤ 脱水元件的应用和排列:如前所述,脱水元件的种类、结构对纸页的形成和脱水、细小纤维的留着、纸页的两面性、纸张的质量,均有较显著的影响,因而在网案上合理的选用和排列脱水元件,具有重要的意义。

几种脱水元件对纸页两面性的影响,如图2-3-44所示。从图中可以看到,使用案辊作为脱水元件所抄的纸页两面性最大,而案板和湿真空箱合理的排列能够抄造两面性最小的纸页。

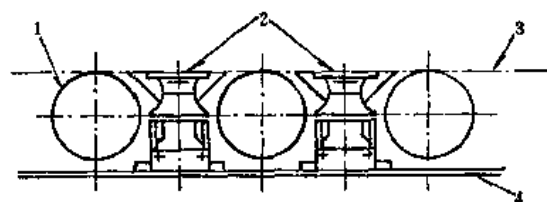


图 2-3-43 Y型挡水板
1—案辊 2—Y型挡水板 3—网 4—支架

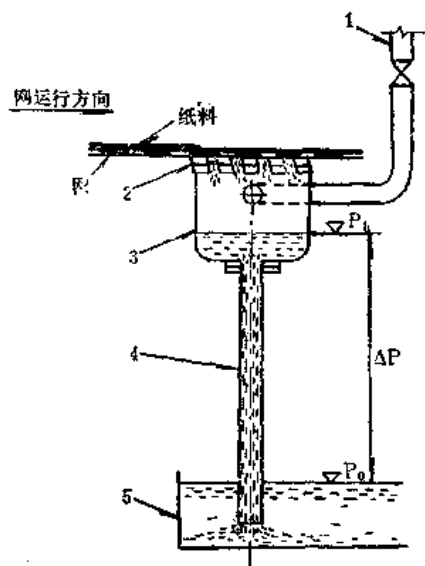


图 2-3-42 湿真空箱示意图
1—接真空系统 2—真空箱箱面 3—真空箱
4—水腿管 5—水封池

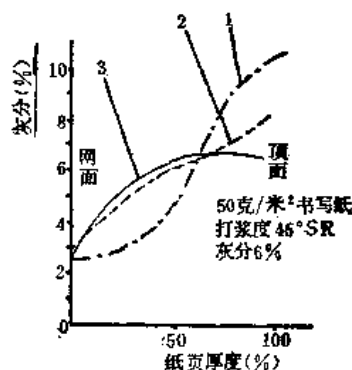


图 2-3-44 案辊、案板、湿真空箱填料分布的比较
1—案辊 2—案板或湿真空箱 3—案板+湿真空箱

在一般情况下,车速较低的造纸机,可以采用案辊和案板;车速较高的造纸机,以采用案板比较适宜,尤其是在使用塑料网的情况下,更适于使用案板。如果车速较高的造纸机使用案辊作为脱水元件,则在成形区最好是使用沟文案辊,以降低脉动作用的强度,提高纸页的匀度和质量。有些造纸机将几种脱水元件结合起来使用,也取得较好的效果,有关这方面的问题,准备在网案的结构一段中,再作进一步的讨论。

(2) 纸料性质:纸料性质包括构成纸料的纸浆的物理结构和化学性质、打浆的方式和程度、上网纸料的温度、浓度、pH值和打浆度、化学添加物(如胶料和填料等)和化

学助剂的应用等。这些性质对纸页的形成和脱水，均有较显著的影响，因而在生产过程中必须很好地加以控制，要在保证纸页匀度和纸张质量的前提下，提高纸料的滤水性能，为提高造纸机的车速创造条件。

纸料的打浆方式和打浆程度对纸料的脱水阻力有较大的影响，浆打得越粘，打浆度越高，脱水阻力就越大，滤水的速度就越慢，离开网部的湿纸页水分也就越大。其原因是由于粘状打浆的纸料，纤维润胀、细纤维化程度高，在网上形成的湿纸页的孔隙平均直径减小，从而增大了脱水阻力。因此，高粘状打浆的电容器纸、描图纸和半透明包装纸的纸料，在网案上滤水就显得特别困难。相反，如果打游离浆，打浆程度又比较低（纤维润胀、细纤维化的程度比较低），脱水阻力比较小，滤水速度也比较快。新闻纸由于主要是由机械木浆制成的，机械木浆是游离浆，虽然打浆度较高，但脱水阻力小，因而纸料的滤水速度较高。草类浆由于半纤维素含量高，杂细胞多，纤维又短又细，因而在打浆过程中纸料很易发粘，打浆度上升快，滤水困难，这些情况尤以双季稻草浆和甘蔗渣浆等更为突出。根据试验的情况表明：稻草浆、麦草浆和木浆在同一打浆度下，麦草浆的脱水速率比木浆低，稻草浆的脱水速率又比麦草浆低，而且随着打浆度的提高，麦草浆的脱水速率下降比木浆快，稻草浆又比麦草浆快。由于草类浆滤水困难，因而离开伏辊的湿纸页的水分较大，湿强度较低，就造成了草浆抄纸在伏辊引纸困难，在压榨部（尤其一压榨）容易粘边断头，影响生产的正常进行。因此，为了保证草浆的抄造性能，严格的控制草浆的打浆度和滤水性能，就具有重要的意义。在生产过程中，采用一些有效措施，例如：在制浆过程中加强对纸浆的洗涤，除去纸料中的非纤维细胞和泡沫，对用于生产一般文化用纸的草浆（尤其是稻、麦草浆和蔗渣浆）采用轻微打浆方法，在满足纸张质量要求的前提下适当降低打浆度，以提高纸料的滤水性能；适当地提高纸浆的硬度等，均有助于提高纸料的滤水性，从而改进纸机的抄造情况。

提高纸料的温度能够降低纸料的粘度，加快了纸料的滤水能力，根据一些试验表明，纸料温度由 50°C 降低到 39°C 时，案辊的脱水能力降低 20%，这也就是夏天滤水快，冬天滤水慢的原因。

对于某些高粘状打浆的纸料，由于纸料滤水困难，在网案上滤水很慢，从而造成纤维在网案上再絮聚，影响纸页的匀度等。为了解决这些问题，可以对上网的纸料进行适当的加温，以提高纸料的滤水性能。在一般情况下，纸料的打浆度越高、造纸机速度越快，上网纸料的温度也应相应高些。例如，在抄造电容器纸的过程中，由于纸料是高粘状打浆（打浆度 96°SR ），因而必须对上网纸料进行加温。根据一些工厂的经验，当车速为 50 米/分时，上网纸料温度为 58°C ；而当车速提高到 85 米/分时，上网纸料温度更应提高到 $64\sim 68^{\circ}\text{C}$ 。

在纸料中加入助滤剂（如聚酰胺树脂、聚丙烯酰胺等），可以提高纸料的滤水性能。有关助滤剂提高滤水性能的机理和应用，在本篇第二章已作介绍，此处从略。

（3）网案振动：网案振动的目的，是为了降低纤维排列的方向性和克服纤维在网上的再絮聚的现象。网案振动一般用于车速较低的造纸机，尤其是用于用粘状浆抄薄页纸（如电容器纸、卷烟纸、打字纸、考贝纸、描图纸、防油纸、半透明包装纸等）的薄页纸机。对于车速比较高，使用的纸料又比较游离的造纸机，由于纸料流动速度大，脱水速

度快，网案振动的作用不象低速纸机那样显著，因而大多不使用网案振动装置。

在控制网案振动时，要注意下列的几点：

① 振动越大，滤水越快。

② 振动加大到一定程度，就会使已经沉积在网上的纤维脱离网面，从而破坏匀度。纸料打得越粘，能够承受的振动程度就越大。

③ 在达到上述振动程度之前，增加振动能量（即振幅与振次的乘积），能够破坏还处于悬浮状态的纤维的絮聚，从而改善匀度。在一般情况下，振幅为 4~10 毫米，振次为 100~300 次/分，对于定向时间长的高粘状浆，可以在此范围内使用较大的振幅和较少的振次。而对于比较游离的纸料、纤维比较短的纸料和抄造比较厚的纸张时，可以在此范围内采用比较小的振幅和比较高的振次。

（4）整饰辊的应用：整饰辊是一根空心的网辊，实际上可分为普通整饰辊和水印辊两种。这两种辊子的基本结构是相同的，其主要区别在于水印辊的面网上织出或焊上所要求的图案，使生产的纸张具有与水印辊网上相同图案的水印，而普通整饰辊的面网与纸机网子相同。

使用整饰辊，可以改善纸页顶面的表面状态和表面结合强度，并改善纸页的匀度。水印辊还可以给某些特殊的纸张（如，高级书写纸和钞票纸等）以所要求的水印。

整饰辊安装的位置以装两组真空箱之间，也就是装在水线即将消失之前的位置比较适宜，以保证有较好的整饰效果。

4. 纸页的高压差脱水

网案的第三段是高压差脱水段，在这一段，湿纸页已基本成形，随着湿纸页干度和紧度的提高，脱水阻力增大，脱水量相应减少，这时如果采用形成脱水段所采用的脱水元件（如案板、案辊）就很难进行脱水，因而就必须采用高压差的办法进行脱水。纸页的高压差脱水，主要由真空箱脱水和伏辊脱水两个部分组成。

（1）真空箱脱水：纸页经过网案成形脱水段脱水之后，进入真空箱继续进行脱水。进到真空箱的湿纸页干度为 1.8~3%，经过真空箱脱水之后，湿纸页的干度可以提高到 10~14%，真空箱的脱水量约占纸料带进网部的水量的 10~25%。在真空吸水箱脱水的过程中，还能够把纸页压实。

① 真空箱结构：真空箱由箱体和面板两部分组成，为了减轻箱体重量，一般采用铸铝箱体，也有的造纸机使用木制的或铸铁的箱体或型钢焊接的箱体。

真空箱的面板的开孔形状和材料，对真空吸水箱的脱水效率和网的使用寿命均有较大的影响，真空箱面板开孔形状必须满足两个要求：首先是要保证纸幅脱水均匀；其次要避免抽力集中，以达到网磨损一致的目的。开孔的形式一般有圆孔、长孔和条缝等三种，开孔面积一般为 25~45%，开孔面积与开孔的形状有关。圆孔形开孔的孔径一般为 $\phi 13\sim 16$ 毫米，开孔面积为 25~30%；条缝形开孔的条缝宽度一般为 20~25 毫米，开孔面积可达到 30~45%；长孔形开孔面积也可达到 40% 左右。在这三种形式中，条缝形和长孔形的有效吸引面积较大，而摩擦面积较小，在真空泵能力相同的条件下，真空吸力比较分散，可以促进排水性能，但条缝形的板面当网经过箱面时，呈起伏的凹凸前进，板面对网的磨损较重。而圆孔面板则存在脱水面积较小，有时还出现较

易堵塞等问题。长孔形面板则兼有两者的优点，因而较为通用。也有的造纸机的前几个真空箱（真空度较低）用条缝形面板，而后几个真空箱采用圆孔形面板。真空吸水箱面板材料有加二硫化钼的硬橡胶（肖氏硬度85~90°）、加二硫化钼的MG尼龙6等。

真空箱的两端有调节吸水宽度的装置，通常是采用挡板和水封，以防止空气漏入真空箱。挡板间的宽度，是根据需要抄造湿纸的宽度用螺杆来调节。在真空箱的传动侧设有吸水口，与真空系统相连接，作为排水之用。在操作侧的一端设有进水口，供冲洗真空箱之用。

真空箱的面宽一般为200~300毫米，对于一般的造纸机多采用250~300毫米。

② 真空箱脱水的机理：真空箱脱水的机理，一方面是由于纸页上下压力差使纸页压缩而脱水，另一方面是由于空气流穿过纸页内部空隙时，将纤维上的水带入真空箱。在一般情况下，水线以前的真空箱称为湿箱（注意，并非湿真空箱），在这几个真空箱上，纸页脱水主要是由于纸页上下压力差使纸页压缩而脱水；水线以后的真空箱称为干箱，在这几个真空吸水箱上，纸页脱水主要是由于空气流穿过纸页内部空隙时，将纤维上附着的水带入真空箱。水线是指在造纸机的前几个真空箱上，由于湿纸页上水分含量高（在一般情况下，湿纸页的干度在7%以下），纤维尚悬浮在水中，其表面为平整的液面，对光反射，液面如镜；当进一步脱水时，纤维即露出液体表面，对光进行散射，镜面消失，这两者之间的分界线就称为“水线”。在一般情况下，出现水线时的湿纸页干度大约7%左右，理想的水线应该是平直或接近于平直，如果水线出现舌状窜动时，就表示流浆箱喷出的纸料不稳定。有窜动的现象，纸页的横幅定量也有差别。从水线出现的位置，也可以判断网部的脱水情况，水线出现得早就说明脱水较快；反之脱水较慢。

真空箱脱水所需的压力差，与湿纸页的毛细管的直径和长度、水的粘度等因素有关。毛细管直径越大，毛细管越短，水的粘度越低，真空箱脱水所需要的压力差也就越小。因此，比较游离的纸料形成的纸页，由于毛细管的直径较大，纸页比较松，因而脱水比较容易，需要的压力差也比较小；反之比较粘的纸料所形成的纸页，由于毛细管的直径比较小，纸页比较紧，因而脱水比较困难，需要的压力差也比较大。提高纸料的温度能够降低纸料的粘度，降低水的表面张力，因而能够降低真空箱所需的压力差，提高真空箱的脱水效率。

真空箱的真空度是影响真空吸水箱性能的重要因素，如图2-3-45所示。

从图2-3-45(1)可以看到提高真空度可以提高真空箱脱水量，当纸页的干度比较低时（如3.8%的干度），提高真空度能够比较显著地提高脱水量，且在比较低的真空度的情况下，就能够取得较大的脱水效果；而在湿纸页干度较高时（如11.6%的干度），提高真空度对提高脱水量的效果并不显著，并且即使在比较高的真空度的情况下，脱水量也较小。但另一方面，从图2-3-45(3)可以看到，提高真空度能够显著地提高网的抽动力，从而增加网的负荷和磨损。这点当湿纸页的干度越大时，影响就越显著。提高真空度在湿纸页干度较低（如3.0%）的情况下，能够降低白水的浓度，但到一定的范围后，就没有什么影响了；对于湿纸页干度较高的情况，则没有什么影响。从上述的结果可以看到，合理的控制真空度，对于提高真空吸水箱的脱水效率和减小网的负荷，具有重要

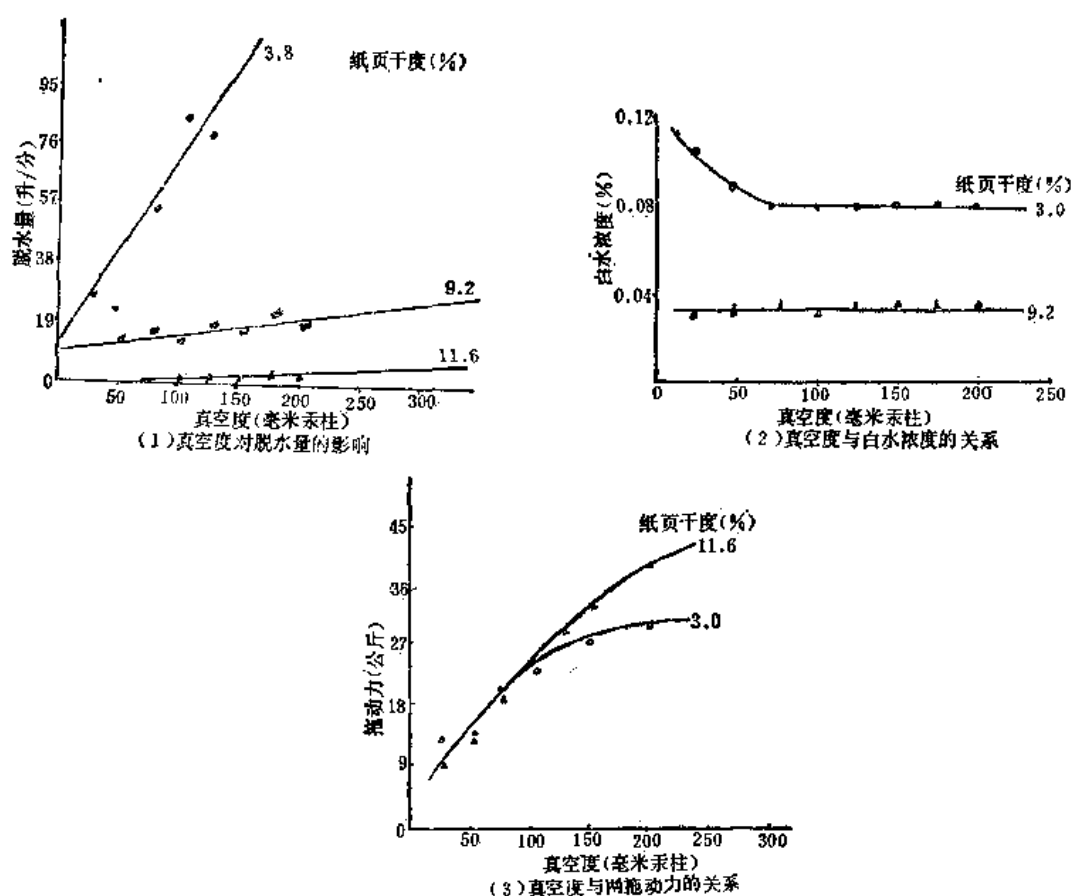


图 2-3-45 真空度对真空箱性能的影响

的意义。为了达到较大的脱水效果，同时又要尽可能降低网的负荷的目的，真空箱的真空度应该逐渐提高，前面的真空箱用过大的真空度是没有必要的。同时，真空箱的总真空度也不宜过大，一般应控制在 $6.65 \sim 39.9 \times 10^3$ 牛顿/米² (50~300 毫米汞柱) 之间，而在比较多的情况下，是采用 $1.06 \sim 2.66 \times 10^4$ 牛顿/米² (80~200 毫米汞柱) 的总真空度。

③ 真空箱的数量和排列：根据目前的使用情况，一般中、低速造纸机使用 5~8 个真空箱(例如 ZW 4 型长网多缸文化纸机用 6 个真空箱)；车速较高的造纸机用 8~10 个真空箱(例如 ZW 10 型长网多缸文化纸机用 8 个真空吸水箱)；抄高粘状浆的薄页造纸机用 10~12 个真空箱(例如 ZR 1 型长网多缸电容器纸机用 12 个真空吸水箱)。

为了提高真空箱的脱水效率，真空箱应采用紧密排列的方式，以利于连续脱水，防止残留在网上的水分反回到湿纸页中，从而提高脱水的效率。考虑到网案的结构和支架等问题，一般真空箱数量较多的造纸机，也有将真空箱分为两组的排列形式，如果网案上设有整饰辊，则整饰辊应位于两组真空箱之间，各种排列的形式如图 2-3-46 所示。

④ 真空箱对网的磨损：网是在真空箱的真空吸引下，在真空箱板面上滑动，网与板面的摩擦是十分严重的，因而网的磨损大部分是由于真空箱造成的，网部的动力也大部分消耗于真空箱。

根据对铜网磨损情况的分析，铜网在真空箱面板上的磨损，主要是由于粘接磨损、刨削磨损、磨拉磨损和腐蚀磨损等因素造成的，为了减少网的磨损，除了要合理地控制真空

箱的真空度和选择合理的面板开孔形式外,改进真空箱的面板材料和使用履带真空箱,也是有效的措施。

⑤ 真空箱的抽气和排水:旧式的造纸机,真空箱的排水和抽气是分别进行的,在传动侧,用虹吸管和水腿密封排水,在操作侧,真空箱与真空管道连接。真空度的调节,是用操作侧的空气阀放入额外的空气来实现。

新设计的造纸机(尤其采用双层布置的造纸机),真空箱的水和气是同一端排出的,水和气的混合物进入气水分离器后,上端的气体经过真空自动调节器,进入真空系统,较重的水从下部经过水腿管流入白水水封池。

(2) 伏辊脱水:纸页经过真空箱脱水后,到网案高压差脱水的第二部分伏辊继续脱水。在一般情况下,通过伏辊脱水,能够将湿纸页干度由 10~14% 提高到 12~22%,随纸料性质、造纸机的结构和造纸机抄造条件的不同而异。在伏辊脱水的过程中,并将纸页压紧,提高纸页的湿强度。

伏辊在结构型式上可以分为普通伏辊和真空伏辊两大类。普通伏辊由于存在操作麻烦、易出事故、脱水率低和网消耗较大等问题,因而目前只用于一些旧式的低速长网造纸机;真空伏辊由于具有操作方便、脱水率高、网的磨损较小、引纸方便等优点,目前已广泛的用于各种类型的长网造纸机。近年来,国外出现了在伏辊应用双面脱水的伏辊压榨,取得提高湿纸页干度的效果。

① 普通伏辊:普通伏辊装置示意图,如图 2-3-47 所示。

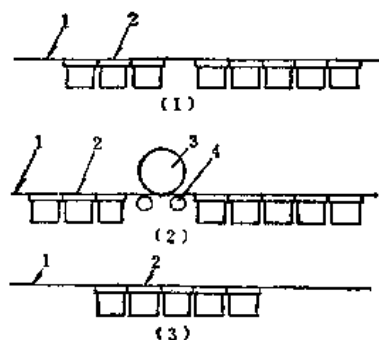


图 2-3-46 真空箱排列的形式

(1) 分为两组排列形式 (2) 设有整饰辊的排列形式 (3) 一组紧密排列形式 1—网 2—真空箱 3—整饰辊 4—案辊

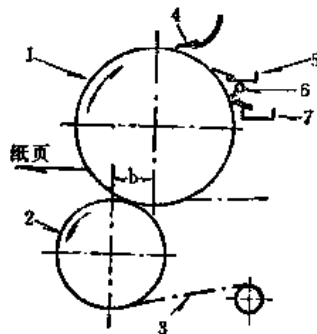


图 2-3-47 普通伏辊

1—上伏辊 2—下伏辊 3—网 4—刮刀
5—纤维收集槽 6—喷水管 7—木刮刀

普通伏辊由上、下伏辊组成,下伏辊大部分被网包着,是网案的最后一个辊子,同时又是整个网部传动的主动辊,上伏辊是由下伏辊传动的。上、下伏辊要错开排列,两辊之间有一定的偏心距 b , b 一般为 75~150 毫米,使网在接触下伏辊之前,与上伏辊间有几百毫米的接触宽度,湿纸页首先受到网和上伏辊间的挤压,然后压力才逐渐上升,直至上、下伏辊间的最大压力。上、下伏辊的偏心距与纸料性质有关,对于滤水性差的粘状浆,偏心距应大一些。为了调节偏心距,上伏辊装在可移动的机架上,借螺丝调节偏心距。伏辊间的线压力,可借加压装置及增减重锤来调节,一般线压力为 $8.34 \sim 18.15 \times 10^3$ 牛顿/米 (8.5~18.5 公斤/厘米)。

下伏辊是铸铁制造的空心辊,外包以铜套或硬胶层(胶层厚度 15~25 毫米、肖氏硬度

98°), 下伏辊必须具有足够的强度和刚度。上伏辊也是铸铁制造的空心辊, 外包以柔软而有弹性的羊毛毡套或橡胶层 (橡胶硬度为肖氏 75~80°), 以缓和 对湿纸页的压力。从生产实践的经验表明, 橡胶上伏辊比毡套上伏辊具有管理简单、经常费用低等优点, 因而在车速 100 米/分左右的造纸机上, 橡胶上伏辊已普遍用以代替毡套上伏辊。使用橡胶上伏辊时, 要配备如图 2-3-47 所示的刮刀、纤维收集槽、喷水管等附属设备, 以清洁上伏辊。上伏辊的直径一般比下伏辊大 100~200 毫米, 上、下伏辊的面宽要比网宽大 100 毫米左右。

② 真空伏辊: 真空伏辊主要是依靠真空抽力进行脱水的, 进到伏辊的湿纸页的水分含量可以较大, 并且还可以提高出伏辊的湿纸页的干度, 减少湿纸页在递纸过程中的断头, 从而为提高造纸机的车速和宽度创造条件。

(i) 真空伏辊的结构: 真空伏辊在结构上可以分为小室式和蜂巢式两种。蜂巢式真空伏辊在结构上虽然较为简单, 但精度不高, 占地面积大, 换网操作不便, 目前已很少使用。小室式真空伏辊又可以分为单室、双室、三室等几种, 一般造纸机多用单室式; 高速造纸机和薄纸造纸机 (如电容器纸机) 多用双室式; 三室式多用于高速薄纸纸机。单室式真空伏辊的结构如图 2-3-48 所示。

这是一种结构较完善的悬臂式真空伏辊, 真空室 9 位于转动的筒体 4 内, 一端固定在机座 7 上, 另一端则由传动边的轴头 11 支持。抽出的空气和水分是通过操作边的空心轴颈排出的。真空伏辊的传动边有延伸了的轴头 1, 末端装有手动油压悬臂装置, 当换网时, 传动边的长轴头被压住后, 伏辊便可以悬臂地位于传动边的一个轴承上, 这时可以拆除伏辊操作侧的可移出的机座 7, 将网套入伏辊, 进行换网操作。真空伏辊的筒体 4 用锡青铜离心浇铸制成, 壁厚一般为 30~40 毫米。伏辊表面钻有直径 7~9 毫米的大量小孔 3, 开孔率为 20~25%。小孔径扩孔后直径为 12~14 毫米, 开孔率可达 52~70%。小孔的排列最好成双螺旋排列, 这样可以使辊内的密封条与辊体本身的磨损均匀, 并可以减弱伏辊的噪音, 但加工比较困难。真空室开口宽度在一般情况下, 单室式为 170~250 毫米; 双室式为 225~400 毫米。真空伏辊直径主要决定于辊子所需的刚度, 也与辊内真空室的宽度和数量有关, 一般净纸宽度为 1760~3150 毫米, 采用的单室式真空伏辊的直径为 650~800 毫米, 而净纸宽度为 3150~4080 毫米; 采用的双室式真空伏辊的直径为 1000 毫米。真空伏辊的面宽一般比网宽大 200~250 毫米, 其中钻孔面宽应与网宽大致相等。

(ii) 真空伏辊真空度: 真空伏辊的真空度与造纸机的车速、纸料的性质、纸张的品种和真空伏辊的真空室结构有关, 造纸机车速越高或纸料的滤水性能差, 伏辊的真空度也相应高一些。对于双室式真空伏辊, 在一般情况下, 高压室的真空度比低压室的真空度高得多, 但对于某些薄页纸机 (如电容器纸机), 高、低压室的真空度相差不大, 几种有代表性的造纸机的真空度示例, 如表 2-3-8 所示。

真空伏辊的真空度不得低于真空箱, 否则引起铜网在伏辊处打滑, 磨损铜网。

(iii) 上伏辊: 真空伏辊一般配用无缝钢管或钢管制作外包橡胶的上伏辊, 包胶层厚度一般为 30~50 毫米, 橡胶硬度为肖氏 30~35°。伏辊间线压力一般为 $9.81 \sim 19.6 \times 10^2$ 牛顿/米 (1~2 公斤/厘米)。对于某些抄宽较窄 (1880 毫米以下) 或车速较低 (150

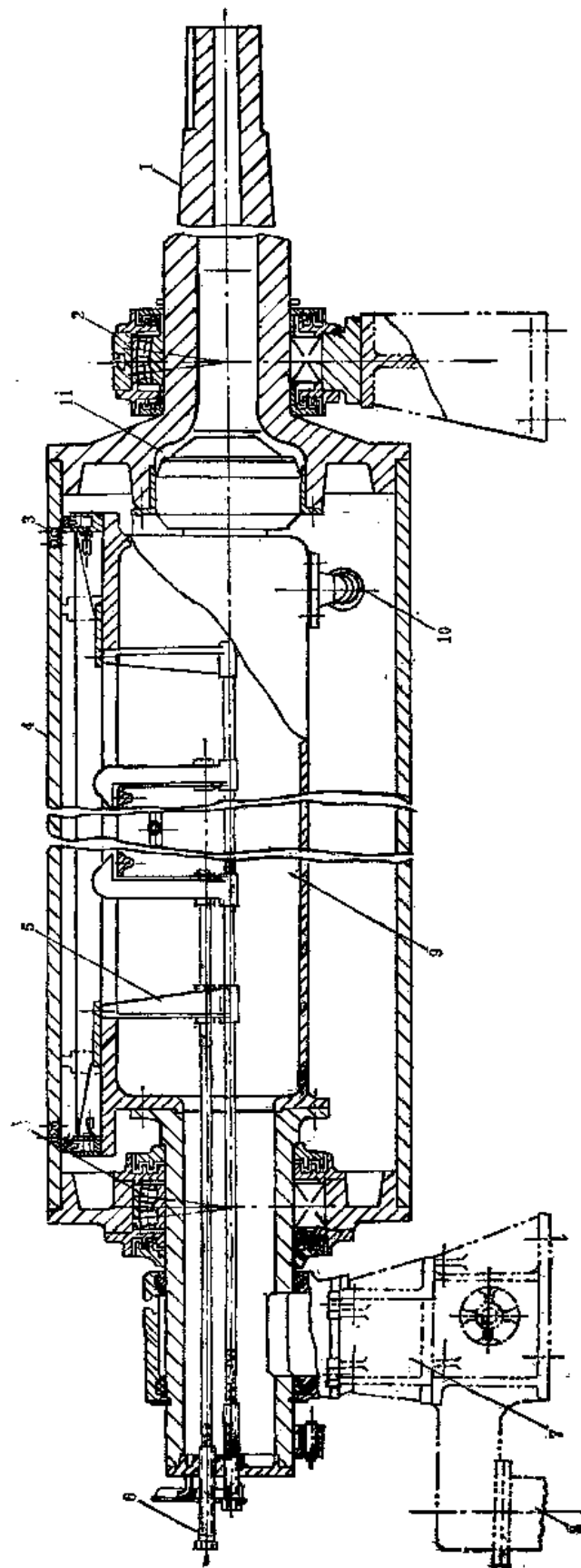


图 2-3-48 真空伏辊结构示意图

1—悬臂用长轴头 2—滚动轴承 3—筒体开孔 4—筒体 5—横向密封位置调节机构
6—调节横向密封位置的螺杆 7—可移出机座 8—接真空系统排水口 9—真空室
10—真空室配用小轮 11—传动边的轴头

表 2-3-8

真空伏辊真空度示例

产品品种	净纸宽度 (毫米)	车 速 (米/分)	配 比 (%)						上 网 打浆度 (°SR)	真空伏辊真空度(毫米汞柱)		
			机 木 浆	化 学 木 浆	绝 缘 木 浆	化 学 苇 浆	化 学 芒 杆 浆	化 学 蔗 渣 浆		单 室	双 室	
											低压室	高压室
新 闻 纸	3940	470	80	20							350~420	460~560
新 闻 纸	3150	315	82	18					76~78	360~420		
新 闻 纸	2362	200	70	10		20			65~69	390~400		
凸 版 纸	3940	370	30	15			55		45~50		220~250	450~500
凸 版 纸	3150	290				100			61		300	420
凸 版 纸	3150	240				100			67~73	450~500		
凸 版 纸	2362	165				100			68~73	400~440		
胶 版 纸	2362	140		35			25	40	35~40	350~420		
纸 袋 纸	4080	380		100					48~58	360~400		
电 容 器 纸	1880	40.5			100				96.5		290	290
描 图 纸	1620	20~25		100					95~96	290~300		

米/分以下)的造纸机,或抄造薄页纸的造纸机,一般不使用上伏辊。

③ 伏辊压榨:伏辊压榨是在伏辊应用双面脱水原理的一个新概念,它由网部的真空伏辊和装设在上面的压辊及其附属装置所组成,如图 2-3-49 所示。

这是一种装有特殊毛毯的反转压榨,它可以使用 $2.65 \sim 3.53 \times 10^4$ 牛顿/米(27~36公斤/厘米)的线压力,这种装置使用的特殊毛毯,能够从湿纸页中接受比较大量的水,这些水在毛毯重新进入压区之前,由高效率的毛毯真空箱把水除去。使用伏辊压榨能够比较有效地提高离开伏辊的湿纸页干度,据报导,对于牛皮衬垫纸可以提高干度 3~4%,对证券纸可以提高干度 7%,从而提高纸页的湿强度,显著地减少湿部断头。

5. 网案结构

(1) 网案的型式:各种长网造纸机网案的结构型式和作用原理,基本上是相类似的。由于造纸机车速和所生产的纸张品种的不同,各种长网造纸机的网案也有一些不同,在某些情况下(如高速造纸机),这些差别有时还很大。几种典型的长网造纸机网案示意图,如图 2-3-50 所示。

图 2-3-50(1)是一种用于车速 100 米/分左右的低速长网造纸机的网案,网案长度为 8260 毫米,网长 17.4 米。其特点是使用案辊和真空箱作为脱水元件,并使用普通伏辊。图 2-3-50(3)所示的网案,是在图 2-3-50(1)所示的网案的基础上改进的一种网案,这种网案的特点,是使用真空伏辊代替普通伏辊,解决了普通伏辊脱水效率差、操作困难等问题,因而造纸机的车速可以提高到 150 米/分以上。图 2-3-50(2)所示的是一种低速电容器纸机的网案,适用于车速 100 米/分以下的电容器纸机,其特点是网案较长,达到

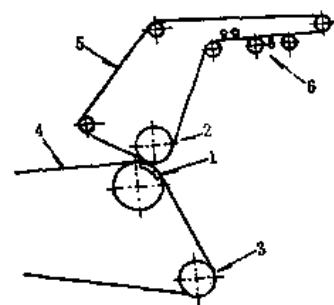


图 2-3-49 伏辊压榨示意图

1—真空伏辊 2—上压榨辊
3—驱网辊 4—网 5—特殊
合成纤维毛毯 6—毛毯洗涤装置

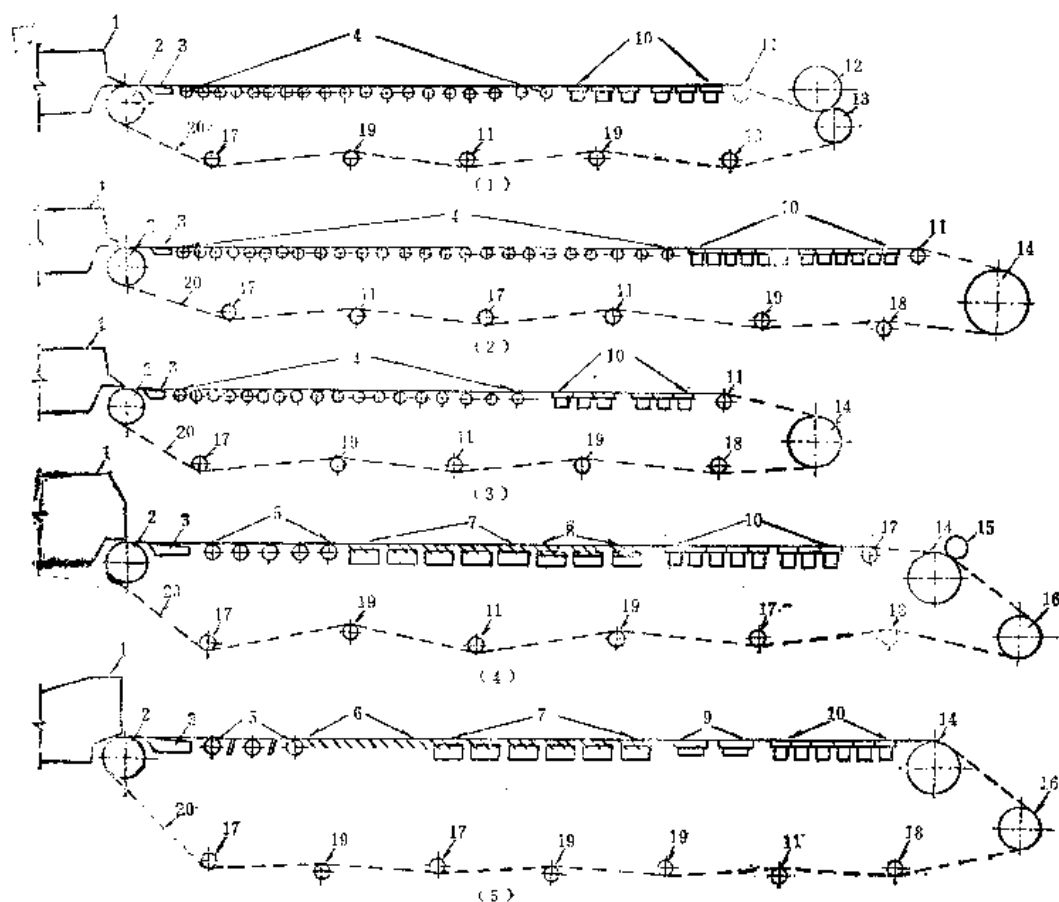


图 2-3-50 几种典型网案示意图

1—流浆箱 2—胸辊 3—成形板 4—案辊 5—沟纹案辊 6—案板 7—案板组 8—真空案板组 9—湿真空箱 10—真空箱 11—校正辊 12—普通上伏辊 13—普通下伏辊 14—真空伏辊 15—真空伏辊上伏辊 16—驱网辊 17—导网辊 18—第一导网辊 19—紧网辊 20—网

10600 毫米，网长 23410 毫米，使用小直径案辊和真空吸水箱作为脱水元件，案辊和真空箱的数量均较多，并使用双室式真空伏辊，以适应电容器纸用高粘状浆抄纸、纸料脱水困难的脱水要求。有的电容器纸机，使用案板和沟纹案辊代替案辊作为脱水元件，取得减少纸张的针孔和增加案辊脱水量的效果。图 2-3-50(4) 所示的是一种用于车速较高的造纸机的网案，适用于车速 300 米/分以上的造纸机，其特点是与气垫流浆箱和复合压榨配合起来使用，以沟纹案辊、案板和真空案板代替案辊作为脱水元件，从而较显著的改进网案的成形脱水段纸页的成形和脱水情况。图 2-3-50(5) 所示的是一种用于高车速(车速 1000 米/分左右，结构车速达到 1100 米/分)、大抄宽(净纸宽度 7.55 米)的造纸机的网案，其特点是用沟纹案辊、案板、湿真空箱等脱水元件，并使用塑料网，因而高车速情况下能取得较好的成形和脱水效果。

(2) 网案规格和网案出力：网案规格是指网案长度、网案高度和网案有效面积。

网案长度是指胸辊中心线至伏辊中心线的长度，网案的长度可按下列公式计算：

$$L = \frac{Q}{KB_n} \text{ (米)} \quad (2-3-13)$$

式中 Q ——造纸机每小时的实际产量(公斤/时);
 L ——网案长度(米);
 B_n ——网案有效宽度(米);
 K ——网案单位有效面积产纸量(网案出力)(公斤纸/米²·小时)。
网案有效宽度可按下式计算:

$$B_n = \frac{B_m}{1-\varepsilon} \text{ (米)} \quad (2-3-14)$$

式中 B_m ——卷纸机上纸的宽度(米);
 ε ——纸的总横向收缩率(%)。

网案有效面积可按下式计算:

$$F = L \times B_n \text{ (米}^2\text{)} \quad (2-3-15)$$

网案单位有效面积产纸量(网案出力),主要决定于造纸机的车速、纸张品种和纸料的性质。造纸机的车速越高,网部形成脱水段的脱水元件(如案辊、案板)所产生的抽吸作用就越大,网部的脱水效率就越高,网案的单位有效面积产纸量也随之增加。例如,同样是生产新闻纸,当车速为200米/分左右时, K 值为55~60公斤纸/米²·小时;而当车速提高到300米/分左右时, K 值为75~80公斤纸/米²·小时。纸料越粘,纸料的滤水性能就越差, K 值也就越低。例如,用高粘状浆抄描图纸时, K 值只有8~12公斤纸/米²·小时。草类浆由于滤水性能差,因而与木浆相比较, K 值也比较低,因而有的研究指出,抄造草类浆为主的造纸机网案应比抄木浆的长20~30%,以增大网案的有效面积,适应草类浆滤水性差对脱水面积的要求。此外采用案板、真空案板等脱水元件和塑料网均有助于提高网部的脱水性能,从而增大 K 值。

网的长度决定于网案的长度,根据网案的长度,可按下式计算出网的长度:

$$L' = CL \text{ (米)} \quad (2-3-16)$$

式中 L' ——网长(米);
 L ——网案长(米);
 C ——网的包角系数:
开式引纸时 $C = 2.17 \sim 2.23$;
真空引纸时 $C = 2.34 \sim 2.40$ 。

几种典型的造纸机的网案规格和网案出力的数据,如表2-3-9所示。

(三) 圆网

1. 圆网部纸页形成和脱水的过程

圆网部是由网笼、网槽和伏辊三个部分组成。在圆网部,纸页的形成是由于圆网内、外水位差所产生的过滤作用,使纸料纤维在脱水过程中被吸附在网面上而形成纸页。圆网部纸页形成和脱水的过程如图2-3-51所示。

图中所示的网槽是顺流式的活动弧形板网槽,这种网槽纸料流动的方向与网笼的转动方向是相同的。网槽由扩散器1、流浆箱2、定向弧形板10、活动弧形板3、溢流槽4、白水槽8等部分组成。纸料以一定的浓度(一般为0.15~0.3%),由进浆管道进入网槽,经过单程扩散器1将纸料沿着造纸机的横向较均匀地分布后进入流浆箱2,在流

表 2-3-9

几种典型的长网造纸机网案规格和网案出力数据

纸 机 型 号	产品品种	净纸 宽度 (毫米)	车 速 (米/分)	网案长度 (毫米)	网 长 (毫米)	网宽 (毫米)	网案 高度 (毫米)	网案有 效面积 (米 ²)	网案出 力 K (公斤纸/ 米 ² ·时)	铜网包角 系 数 C
ZW4 长网多缸文化纸机	凸版印刷纸	1760	60~150	8260	18350	2150	1250	16.25	40~60	2.21
ZW8 长网多缸文化纸机	凸版印刷纸	2362	100~200	11000	24000	2750	1550	28.6	56.7	2.18
ZW10 长网多缸文化纸机	凸版印刷纸	3150	330~440	14500	33900	3600	2000	47.9	90	2.34
长网多缸新闻纸机	新闻 纸	3150	225	11400	24000	3480	1100	37.6	58.6	2.17
长网多缸新闻纸机	新闻 纸	3150	315	11870	26000	3550	1350	39.2	78.5	2.18
长网多缸新闻纸机	新闻 纸	3940	470	12560	28100	4300	2000	51.9	109.7	2.23
长网多缸新闻纸机	新闻 纸	5500	600	15100	35900	6000	2125	87	117.6	2.38
ZW1 长网多缸袋纸机	纸 袋 纸	1092	40~120		17400	1350			40~60	
长网多缸袋纸机	纸 袋 纸	4080	380	13700	32700	4650	2000	60.5	128.5	2.39
ZR1 长网多缸电容器纸机	电容器纸	1880	25~87.5	10600	23410	2300	1260	22.79	3.26	2.21

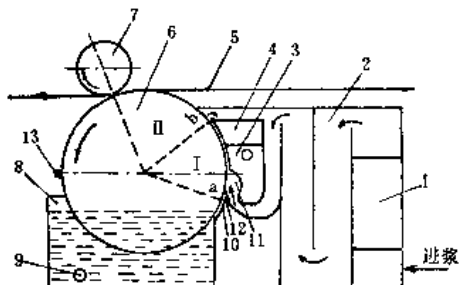


图 2-3-51 圆网部纸页形成和脱水过程

1—扩散器 2—流浆箱 3—活动弧形板 4—溢流槽 5—毛毯 6—网笼 7—伏辊 8—白水槽 9—白水排出口 10—定向弧形板 11—匀浆沟 12—唇板 13—喷水管 I—上网区 II—过滤区

浆箱中纸料经过两次的翻流(上下流动),以稳定纸料的流动,并达到加速和匀速的目的。通过流浆箱以后,纸料进入网槽的定向和定速部分,定向部分由定向弧形板10和装在定向弧形板尖端上的唇板12组成,其作用是控制纸料上网的方向,并使浆流稳定,唇板还起到密封作用,以防止网面与定向弧形板间漏浆。通过调节定速部分的活动弧形板3与网笼6之间的缝隙宽度,可以适当调节纸料上网时的流速与圆网线速度间的关系,以适应车速与其他抄造条件变化时对浆

速的要求。纸料在 a 点开始上网, 在 I 区(上网区)形成纸页, 并滤去纸料带进的大部分的水。随着网笼的进一步迥转, 形成的湿纸页在 II 区(过滤区)进一步脱水, 而多余的纸料则通过溢流槽 4 溢流出去, 以保证纸料的流动和湿纸页的匀度。经过 II 区脱水后的湿纸页, 再经上伏辊轻压脱水后(这时湿纸页的干度可达 8~10%), 由于毛毯的比表面积比网大, 湿纸页贴附在毛毯 5 上, 随毛毯引去。而圆网笼则继续转动到喷水管 13 处, 被喷水管喷出的清水冲洗网面后, 再进入下一个循环。通过网笼的白水进入白水槽 8, 再由白水槽排出口 9 排到白水池中。

2. 圆网部结构

(1) 网笼: 网笼的作用是形成湿纸页, 在结构上, 对网笼的要求是脱水均匀; 在湿纸页形成的过程中及形成后不产生搅动; 有足够的刚度和强度, 以承受伏辊产生的压力; 有准确的几何形状; 安装应保证水平。

网笼的直径一般在 900~1500 毫米之间,也有大至 1800 毫米的,最常用的为 $\phi 1000$ 毫米和 $\phi 1250$ 毫米两种。在一般情况下直径较大的网笼,易于提高造纸机的车速。网笼的面宽一般为造纸机的抄宽加 150~200 毫米,例如净纸宽度为 1575 毫米的双圆网双

缸造纸机，抄宽为 1625 毫米，选用的网笼面宽为 1800 毫米。一种有代表性的网笼的结构，如图 2-3-52 所示。

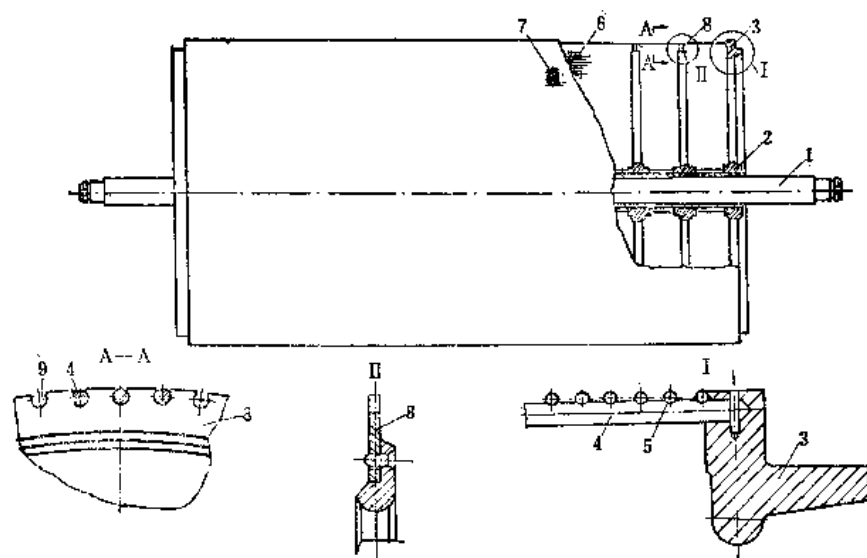


图 2-3-52 网笼

1—轴 2—轮辐 3—轮颈 4—辐条 5—紫铜丝 6—里网 7—外网 8—铜圈 9—沟槽

在钢制的主轴 1 上装有若干铸铁轮辐 2，轮辐间的距离为 150 毫米左右，在轮辐上装有铜圈 8，铜圈上开有沟槽 9，作为安装辐条 4 之用，辐条直径为 8 毫米，辐条上绕有直径 2.4~3 毫米的紫铜线，绕线螺距为 9 毫米。在铜线上包上里网 6（一般用 8~16 目），里网的作用是使网面平整并分散伏辊的压力，里网外面再包上外网 7（一般为 40~80 目），作为形成湿纸页之用。有的网笼为了加快脱水和减轻对纸料的扰动，将与网接触面积较大的绕在辐条上的紫铜线改为与网接触面积较小的铜片圈，取得较好的成果。

网笼的两端是开口的，与网槽相通，为了防止纸料漏进网内，混入在白水之中，增加纤维流失，因而必须将网笼两端作成一宽 35 毫米左右的轮颈作为密封面之用。轮颈的直径比网笼直径约小 50 毫米左右，同时在圆网槽两端内壁作上筋环，直径与轮颈相同，位置正好与轮颈相对，轮颈与筋环间相距 4~5 毫米。另用一条旧毛毯作成的水带套住轮颈和筋环，水带两端钉在网槽上面，这样圆网内的白水与圆网槽就被隔绝了，同时圆网又能自由旋转。但水带不能系得太紧，否则会妨碍圆网的旋转。毛毯做的水带较容易损坏，因而需要经常检查更换。为了控制纸页的抄宽，圆网面的两边要用油漆（或溶于香蕉水的赛璐珞溶液）、漆布、薄塑料片等遮盖网眼以定抄宽。

(2) 网槽：

① 网槽的分类和特点：网槽是圆网部的主要部分，按照形成纸页的过程中，纸料流动的方向与圆网转动的方向的关系来分类，可以分为顺流式网槽、逆流式网槽和侧流网槽三大类。

顺流式网槽的基本特点是纸料流动的方向与圆网转动的方向相同，在纸页形成的过程中纸料有逐步浓缩的现象，溢流浆的浓度大于上网浓度。为了保证纸页的匀度，这类网槽一般都设有溢流装置，循环使用纸料，溢流浆量较大。这类网槽有多种结构形式，

如活动弧形板式网槽、顺流溢浆式网槽、喷浆式网槽、一五式网槽、一六式网槽、营纸式网槽等。但目前得到广泛使用的仅有活动弧形板式网槽和顺流溢浆式网槽。顺流式网槽主要用于抄造各种品种的纸张，也可以用于抄造某些纸板（如白板纸）。

逆流式网槽的基本特点是纸料流动的方向与圆网转动的方向相反，在纸页形成的过程中，由于纸料的不断进入可以抵消纸料的浓缩作用，因而不需要设溢流装置，但必须保持上网纸料量与抄造能力和滤水能力相适应。这类网槽的结构形式主要有逆流式网槽和改良逆流式网槽（干式网槽）等两种，用于抄造各种纸板。

侧流式网槽的基本特点是纸料的流动方向斜切于圆网的转动方向，成纸的纵横向拉力比很接近，适用于使用长纤维抄造薄纸或要求纵横向拉力比很接近的纸张或纸板。

网槽虽有上述的多种类型和形式，但不论那一种形式的网槽，都存在一个共同的问题，就是如何解决车速与匀度的矛盾。因此在设计和选用圆网槽时，在结构上都必须适应提高造纸机车速和改进纸张质量的要求。为此，应特别注意下列的几个问题：

(i) 要有利于灵活调节浆速与网速的关系，并能够控制和稳定纸页形成过程中纸料的流速和浓度。例如，活动弧形板网槽就具有通过调节活动弧形板与网面的距离达到适当调节浆速与网速的关系的优点，因而适应性较强；又例如，通过合理的设计各种网槽的“牛角道”和合理的溢流装置，以及调节溢流浆量，来合理的控制和稳定纸页成形过程中纸料的流速和浓度。

(ii) 要有利于增加网内外的压力差，以增加脱水效率，并克服在车速比较高的情况下，网笼转动所产生的离心力对纸页形成的影响。例如，各种抽气式网槽和加压式网槽就是为了这个目的而设计的。

(iii) 要有利于纸料的均匀悬浮，平稳上网，以保证纸页的形成和匀度。例如合理设计网槽的进浆系统，必要时采用效率高的布浆器和整流元件；在设计流浆箱时合理地决定各道隔板间的距离，一般是第一道隔板之间的宽度较大，而第二、三道隔板间的距离较小，具体的尺寸应根据回水能力的大小和其他工艺条件来确定，过大或过小会使纸料流动过稳或过急，容易造成沉淀或激流现象的发生。

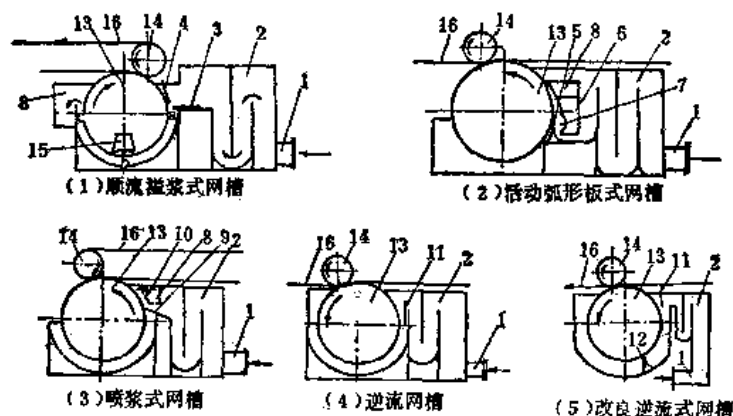


图 2-3-53 几种常用的圆网槽的示意图

1—进浆管 2—流浆箱 3—调速平板 4—活动裙布 5—定向弧形板 6—活动弧形板 7—匀浆沟 8—溢流槽 9—唇板 10—堰板 11—调节板 12—密封装置 13—网笼 14—快辊 15—白水排出口 16—毛毯

表 2-3-10 几种网槽的特点及其比较

网槽型式	网槽特点	纸页特性	适用范围	注意问题
顺流溢浆式网槽 图 2-3-53 (1)	1. 圆网的实用有效长度较大, 上浆面积约为圆网总面积的75%, 开始上浆时, 纸料的流动方向是由上而下, 有利于纤维悬浮, 因此在打浆度较高和长纤维较多时, 能够抄出组织均匀的纸张; 2. 过滤面积大, 滤水能力较强, 在较高的车速和定量较大的情况下, 也能抄造正常; 3. 上网浓度低, 白水浓度也较低 (一般只有上网浓度的十分之一), 纤维流失较小; 4. 网不易脏, 网槽清扫方便	纸页均匀, 纸页背面较平滑, 透光度低, 纵横向张力比大	比较适合于抄造薄纸, 也可抄造定量较大的纸张	要注意牛角边(图 2-3-53(1)中的 a-c 区域)的设计, 一般情况是如在 a 点的距离为 l_1 , b 点的距离为 l_2 , c 点的距离为 l_3 时则: $l_1 - l_3 = 2(l_1 - l_2)$ 。例如 l_1 为 130 毫米, l_2 为 100 毫米, 则 l_3 为 70 毫米。 a-c 区弧形底与网的距离小, 有利于改善纸张的匀度, 但太小时会出现空气泡, 甚至会破坏纸页的形成
活动弧形板式网槽 图 2-3-53 (2)	1. 有可调节的弧形板, 可以保证纸料流动速度在不同的工艺条件下与网速相适应, 便于控制, 能适应多种产品生产的要求; 2. 圆网的实用长度较短, 在同一条件下, 纸料上浆压力大, 有利于改善纸页的匀度; 3. 纸料上网浓度较大, 白水浓度较高, 纤维流失多; 4. 对纸料的适应性差, 可以使用各种纸料; 5. 网易脏, 容易产生透光点, 但圆网槽清洗方便	纸张的紧度、纵横向张力比值均比顺流溢浆式小, 尤其是使用增设匀浆沟的活动弧形板, 纵横向张力比可降至 1.9~2.3:1, 纸页的背面较粗糙, 但透气性能较好	适应于多种的纸张, 也可用于抄造某些纸板(如白报纸)	要注意控制活动弧形板与网面的距离, 距离太窄, 浆速快, 纸料激流的冲击使纸面发生空气泡, 若距离太宽, 浆速慢, 纤维组织不均匀, 有片状甚至絮聚的现象产生
喷浆式网槽 图 2-3-53 (3)	1. 圆网的实用有效长度最短, 滤水受到一定的限制, 因而纸料必须维持较高的浓度上网, 造成纸料悬浮液分散不好, 白水浓度高, 纤维流失较大; 2. 网容易脏	纸质松, 吸收性能好, 透气度大, 纸张背面粗糙, 纵横向拉力比值较低	可以适合抄造卫生纸、包装纸	在纸板前增加溢流槽[如图 2-3-53(3)中 c], 保持适当的溢流量, 可以降低上网浓度, 提高纸页的匀度
逆流式网槽 图 2-3-53 (4)	1. 逆流上浆, 防止纸料浓度逐渐增高的现象; 2. 上网浓度高, 白水浓度大; 3. 适用于比较粗糙的纸料	纸质较疏松, 吸收性好, 透气度大, 纸张纵横向拉力比值小	适用于抄造纸板	

(iv) 有利于改善一般圆网机纸页纵横向拉力差较大的缺点, 例如活动弧形网槽增设匀浆沟(图 2-3-51 中的 11), 使纸料在上网之前的瞬间, 突然来一个扩张, 产生小涡流, 使纤维纵横交错均匀上网, 改善纸页的匀度, 降低纵横向拉力比。采用侧流式网槽是降低纸页纵横向拉力比的有效办法。

(v) 有利于降低白水浓度, 减少纤维流失, 并且采取有效措施, 尽量利用溢流浆(回浆)和白水。

(vi) 便于操作、刷洗、维护和检修。

② 几种常用的网槽的结构和比较: 几种常用的圆网槽的结构示意图, 如图 2-3-53 所示; 其特点及其比较, 如表 2-3-10 所示。有关改良逆流式网槽的特点及注意问题在第四章“纸板的抄造”介绍。

网槽一般用塑料板或木材制作。

(3) 伏辊: 伏辊的作用是以一定的压力压在网笼上, 并带动圆网转动; 对网上形成的湿纸页起到压榨脱水的作用, 由于伏辊的弹性作用, 把毛毯均匀地压贴在圆网上, 再将湿纸页揭起带走。

① 伏辊的种类: 伏辊可以分为毛毯伏辊和橡胶伏辊两种。

毛毯伏辊是把毛毯剪成长度与木辊相等、宽度约为 150~200 毫米的矩形, 然后按矩形毛毯条的中线方向与木辊的中线方向成 10° 角左右; 将毛毯一条紧贴一条(也有用几条成一组)用铁丝或铜线固定在木辊上再加工制成。这种伏辊弹性较好, 造价较低, 可用数月, 但加工比较费时。

橡胶伏辊是用空心铸铁辊包软橡胶加工而成, 橡胶层厚度为 25~30 毫米, 硬度以 $30\sim35^\circ$ (肖氏硬度) 较为适宜。硬度过大会使伏辊与网接触不良, 影响湿纸页从网上揭起, 同时还会产生压溃的现象; 如过软则对湿纸页压榨的作用小, 且过软的辊子由于橡胶的硬度低, 也不易加工制作。一般来说, 橡胶伏辊具有弹性好、使用寿命长等优点, 但造价较高, 加工制造比较困难, 有的工厂还发现橡胶伏辊在使用过程中, 由于老化作用而使辊子的硬度增加, 影响弹性和使用性能。

② 伏辊的线压力和偏距: 伏辊的线压力是指伏辊与圆网之间相接触的接触线上每厘米长度所受的压力, 以公斤/厘米表示, 国际单位以牛顿/米表示。在一般情况下, 伏辊的线压力为 $9.81\sim19.6\times10^2$ 牛顿/米 (1~2 公斤/厘米), 压力的大小视纸和纸板的品种和纸料的性质而定。对于厚纸, 特别是纸料滤水性能好的纸和纸板, 线压力可以适当增大, 如箱纸板、草纸板的线压力可以用 $2.45\sim4.91\times10^3$ 牛顿/米 (2.5~5 公斤/厘米); 而对于薄纸, 特别是纸料打浆度比较高、滤水性能比较差时, 伏辊的线压力要适当地低一些。

伏辊与圆网要有一定的偏距, 在毛毯进入伏辊的地方, 一般都加有一块挡水帘, 以免压出的水倒流, 而把湿纸页冲出泪纹。伏辊与圆网的轴线必须平行, 其偏心角一般在 $16\sim20^\circ$ 左右为宜。偏距过大, 影响伏辊对纸的压力; 反之, 过小则预压区小, 湿纸页会因受到突然的剧烈的压榨而造成压花的毛病。

3. 影响圆网部纸页形成和脱水的基本因素

如前所述, 圆网网部纸页的形成, 是由于圆网内、外水位差所产生的过滤作用, 使

纸料纤维在脱水过程中被吸附在网面上而形成纸页，在这个过程中，形成弧长和网内外压力差、纸料流速与圆网转速的关系、选分作用和洗刷作用、圆网的临界速度等因素是影响圆网部纸页形成和脱水的基本因素。这些因素对造纸机的车速、圆网的生产能力和纸张的质量均有重大的影响。

(1) 形成弧长与网内外压力差：形成弧是指从圆网开始接触纸料的一点开始，至离开纸料的一点为止的一段弧长，不同形式的网槽有不同的形成弧长。对于各种顺流式的网槽来说，顺流溢浆式网槽的形成弧最长，而喷浆式网槽的形成弧最短。在一般情况下，延长圆网的形成弧长，有利于纸页的形成。例如顺流溢浆式网槽，由于有较长的形成弧，因而有可能降低上网的纸料浓度，并从下旋侧就开始上浆，纸料的流动方向是自上而下，有利于纤维悬浮，从而也有利于形成纤维组织较均匀的纸页。但延长形成弧又会造成上浆压力较小，而比较大的上浆压力又有利于纤维迅速地吸着在网面上，有利于改善纸页的匀度和提高圆网的脱水能力，因而在实际生产过程中，必须把这两个因素综合起来考虑，才能取得比较好的效果。

圆网的脱水能力与形成弧长(即有效过滤面)和网内外压力差(过滤压力)成正比，而与过滤阻力成反比，而过滤阻力的大小则与湿纸页的厚度、纸料的性质和打浆度、纸料的温度、化学助剂和化学添加物的应用等因素有关。对于同一类型的网槽来说，增大圆网的直径，提高溢流浆槽的闸板，降低网槽白水闸板，均有助于提高形成弧长和网内外压力差，但这些措施都有一定的限制，因此为了更好地提高圆网的滤水性能，增加网内外压力差和改善纸页的形成，发展了各种型式的抽气圆网、真空圆网、加压圆网、快速成形圆网等多种型式的、具有较大压力差的圆网。

(2) 纸料速度和圆网线速度的关系：纸料速度和圆网线速度的关系(浆速和网速的关系)，可以用下列公式表示：

$$\phi = \frac{V_T}{V_c} \quad (2-3-17)$$

式中 ϕ ——在纸页形成过程中纸料流速比圆网线速度的滞后系数；

V_T ——纸料流速(米/分)；

V_c ——圆网线速度(米/分)。

ϕ 值对于纸页的质量(尤其是纵横向拉力比)有较明显的影响。据报导 ϕ 值由0.05提高到0.8时，能够使纸张的纵横向拉力比由2.5:1降低到1.63:1。其原因这是由于 ϕ 值越小时，纤维排列的方向性就越强，纸张的纵横向拉力比就越大。此外， ϕ 值对于纸页形成过程中的洗刷作用和选分作用以至过滤速度均有所影响，因此，在圆网部的设计和使用过程中，应尽可能使纸料的速度和圆网的线速度相适应。例如，在设计顺流溢浆式网槽时，要注意选好牛角道各部分的尺寸，以调整纸料的速度，使得在纸页形成过程中，纸料速度与圆网线速比较相适应， ϕ 值比较稳定。活动弧形板网槽在使用过程中，也应根据工艺条件调节活动弧形板与网面的距离，以控制 ϕ 值。为了能比较好地控制纸料速度和圆网线速度的关系，圆网部采用类似长网部的喷浆上网形式，代替传统的网槽内挂浆上网的形式，取得比较显著的效果，已为各种新型圆网纸机所采用。

(3) 圆网的临界速度：当湿纸页随同网笼回转离开网槽液面时，湿纸页将受到重力

加速度、纸幅对铜网的附着力和由于网笼迴转而形成的惯性离心力等的作用,情况比较复杂。圆网的临界速度就是指由于圆网的迴转,产生了离心力,当离心力等于湿纸页在网上的重力时的车速,就称为临界速度,临界速度可以用下列公式表示。离心力的关系如图 2-3-54 所示。

$$V = \sqrt{rg \sin \theta} \text{ (米/分)} \quad (2-3-18)$$

$$F = \frac{mV_1^2}{r} \text{ (牛顿)} \quad (2-3-19)$$

式中 V —— 临界速度(米/分);
 r —— 网笼半径(米);
 g —— 重力加速度(9.81 米/秒²);
 F —— 离心力(牛顿);
 V_1 —— 圆网的圆周速度(米/秒);
 m —— 湿纸页的质量(公斤);

$$\sin \theta = \frac{r-h}{r};$$

h —— 圆网笼露出浆面的高度(米)。

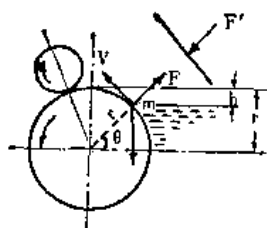


图 2-3-54 圆网上离心力的关系示意图

由式(2-3-19)可以看出,网笼迴转产生的离心力与网笼的半径成反比,也即在相同圆网圆周速度的情况下,网笼直径越大,离心力越小。而由式(2-3-18)看出,网笼的直径越大,临界速度也越大,造纸机容许的速度也越高。因此,为了提高造纸机的车速,在一定范围内使用直径较大的网笼(例如将直径 1000 毫米的网笼改为直径 1250 毫米的网笼),对于提高造纸机的车速是有效的。但网笼的直径是有一定限制的,不能做得太大。因而,随着造纸机车速的提高,湿纸页面上的粗长纤维,因离心力和重力的关系,在离开液面时易于滑浆,轻则影响匀度,重则产生泪痕等纸病,甚至出现甩浆等问题,因此,影响到圆网纸机车速的提高。为了解决这个问题,可以采用网内减压(如抽气式圆网、真空圆网)和网外加压(如压力圆网)的办法来解决,效果比较显著。如果采用加压圆网,临界速度与外加压力的关系可以用下列公式来表示:

$$V = \sqrt{rg(\sin \theta + F'a)} \quad (2-3-20)$$

式中 F' —— 外加压力;

a —— 圆网上单位重量的质点 m 所占的面积(湿纸页比重 ≈ 1)。

例如,当 $\theta = 45^\circ$, $r = 0.5$ 米, $a = 1 \sim 4$ 时,采用 10~20 毫米水柱(即 $F' = 1 \sim 2$ 克/厘米²)的压力就能使速度的极限提高一倍,外加压力与速度极限的关系如图 2-3-55 所示。由此可见,采用压力圆网是提高圆网造纸机车速的一条途径。

(4) 选分作用和洗刷作用:在纸料上网形成纸页的复杂过程中,由于纤维具有不同的粗细长短的情况,使圆网有选择地吸附纤维,称为选分作用。又由于圆网迴转与纸料间的摩擦作用,使已吸附于网面的部分纤维又被洗刷下来,称为洗刷作用。这两种作用对纸页的形成,以至纸张质量均有较明显的影响。

在顺流式网槽中,由于纸料的流动方向与圆网的转动方向相同,当圆网迴转进入纸料中时,纸料即开始上网,这时滤水速度比较快,因而比较粗长的纤维获得优先上网,

细小纤维则易于通过网目，随同白水流失。随着圆网的继续迥转，网面的湿纸页逐渐增厚，滤水速度也随之下降，细小纤维则又由于具有表面积较大、附着力较强的特点，易于附着在长纤维所形成的湿纸层上，而这时吸附的粗长纤维是比较疏松的，又可能被洗刷到纸料液中。当浆速大于网速时，这种洗刷作用就更明显。由于这种洗刷作用，在圆网迥转至离开网槽水面时，网面最外层的疏松纤维又会因重力关系而往回滑落，在网面湿纸幅的表面形成小涡流。当造纸机车速比较高、打浆不均匀或纸料浓度较高时，小涡流可能发展成纸料打滚，影响纸页的匀度，甚至造成泪痕纸病。对于逆流式网槽，也同样存在选分作用和洗刷作用，而且洗刷作用更为明显，这与逆流式网槽的圆网迥转方向与纸料流动方向相反有关。

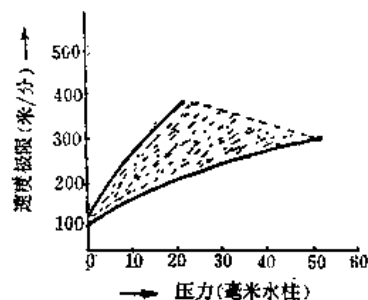


图 2-3-55 外加压力与速度极限关系

由于选分作用和洗刷作用，造成圆网抄造的纸页两面性较大，纸面粗糙，平滑性差。

4. 圆网部的发展

与长网部相比较，传统的圆网部具有结构简单、体积小、重量较轻、占地面积小、投资省、适应于某些品种的生产等优点，因而是目前我国小厂广泛使用的一种网部形式，同样为生产纸板的工厂所普遍采用。但传统的圆网部由于受到前面所分析的结构上的限制，车速、产量和效率都比较低，产品质量也不很理想。为了提高圆网造纸机的车速、产量、质量和效率，近年来国内外对圆网部进行了很多重大的改进，发展了多种型式的新式圆网，例如，各种型式的抽气圆网、各种型式的真空圆网、加压圆网、超成型圆网、快速成形圆网、离心脱水型圆网等。这些圆网虽然种类繁多，但归纳起来主要是在下列的几个方面进行改造：

(1) 将圆网传统的挂浆成型的方法改为类似长网的喷浆成型的方法。改革圆网的进浆系统及流浆箱的结构，使用目前应用于长网或夹网造纸机的各种型式的流浆箱（包括新型的满流式流浆箱、满流气垫结合式流浆箱、阶梯扩散器流浆箱、水力式流浆箱、W型高湍动流浆箱等），作为圆网机的压力进浆系统而取代网槽，还可以在网笼上套上短网，从而达到能够根据工艺要求，合理地调节浆速与网速的关系，克服选分作用和洗刷作用造成的问题。

(2) 采用减压（如抽气圆网、真空圆网）或加压（加压式圆网）的方法，克服离心力的影响，并强化纸页的脱水，提高脱水效率，并改善纸页的匀度和纸张质量。

(3) 最近还趋向于发展离心脱水型的脱水方法，并以短长网包围圆网而形成夹网离心脱水型式，这就可以将高速运转中产生的离心力变为加速脱水的有利因素，并可以省去真空系统，达到节省电能、减低噪音、简化结构、节省投资的目的。

由于进行了上述的改革，克服了圆网部的薄弱环节，使圆网机的车速和产量、效率大幅度地提高，产品质量有了改善。目前抄造薄纸的高速圆网机（如ER-WE-PA高速真空圆网机）最高车速可以达到900米/分。并且还有多种新型圆网机车速达到180~

300 米/分。

这里准备着重介绍几种抄造纸张的有代表性的新型圆网的结构和特点,至于抄造纸板的新型圆网则在本书第四章介绍。

(1) 加压圆网:加压圆网的主要作用是为了提高车速和克服离心力。其工作原理示意图,如图 2-3-56 所示。

其特点是在圆网的上旋边,贴在网上的湿纸页、网槽内的纸料液面、网槽两边的侧板及后板,以及毛毯形成一封闭小室(严格地说,毛毯与网槽之间有缝隙)。用鼓风机送入压缩空气使小室内的压力保持在 $4.05 \sim 5.07 \times 10^2$ 牛顿/米² (40~50 毫米水柱),最高可达 1.01×10^3 牛顿/米² (100 毫米水柱)。除此以外,它与普通圆网部没有什么区别,只要将普通圆网稍加修改,就可改装成加压圆网,因而投资少,改造容易,操作也较方便。

加压圆网由于外压作用克服圆网旋转所产生的离心力,因而能够比较有效地提高造纸机的车速,并提高纸页的匀度和脱水效率。由于在圆网转出纸料的液面处,往圆网面上吹送有压缩空气,能够防止一般圆网出现的纸料液面与网一起隆起的现象;并且还能防止在网上形成的湿纸页被洗刷脱落的问题;网内外的空气压差还能够提高纸页的紧密度和平滑度。由于脱水效果较好,就可能把上网纸料浓度降低到 0.1~0.15%,从而有利于提高纸页的匀度和减小絮聚的现象。

目前用加压式圆网抄造定量 40 克/米² 的纸张时,最高车速可以达到 350 米/分。

(2) 真空圆网:图 2-3-57 所示的是一种使用阶梯扩散器流浆箱的真空圆网。

这种圆网的特点,是将高效率的阶梯扩散器流浆箱使用到真空圆网上。由于在纸料流送以及形成过程中,能够控制纸料的微湍动,使纤维悬浮液能够分散,防止絮聚,并且采用压力成型的方法,因而有效地提高造纸机的车速和改善纸页的匀度和质量。据报导,这种圆网机的最高车速可达 400 米/分,横幅定量波动最大值为 $\pm 1.5\%$ 。

(3) 快速成形圆网:快速成形圆网的示意图,如图 2-3-58 所示。

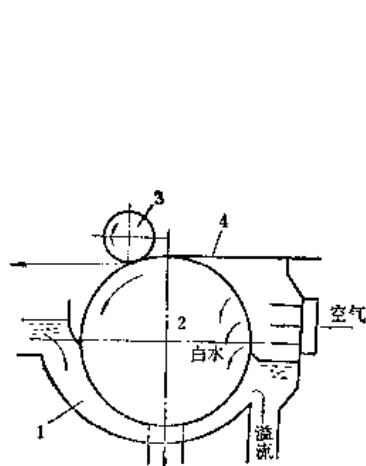


图 2-3-56 加压圆网工作
原型示意图

1—网槽 2—网篦
3—伏辊 4—毛毯

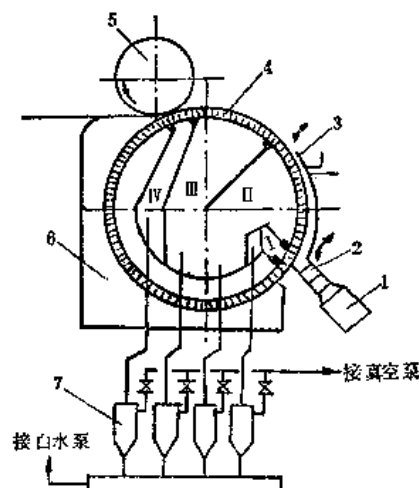


图 2-3-57 用阶梯扩散器流
浆箱的真空圆网

1—矩形布浆器 2—阶梯扩散器 3—上唇板
4—真空圆网 5—伏辊 6—网槽 7—分离器

快速成形圆网由流浆箱（其结构与长网纸机的敞开式流浆箱基本相同）、抽气网笼[有 $1.01 \sim 2.53 \times 10^3$ 牛顿/米² (100~250 毫米水柱) 的真空度]和真空吸移辊[有 3.32×10^3 牛顿/米² (250 毫米汞柱) 的真空度]等三个主要的部分组成。其特点是采用类似长网的喷浆成形的办法，纸料由流浆箱喷到圆网上，在很短的成形区（图 2-3-58 中的 a~b 段）初步脱水，并在 b 点进入圆网和毛毯之间进一步挤压脱水，到 c 点与真空吸移辊接触，并由真空吸移辊将湿纸页转移到毛毯上带进压榨部。由真空吸移辊送到毛毯上的湿纸页水分约为 12%。

使用快速成形圆网车速可以达到 150 米/分，纸张的纵横向拉力比达到 1.8~2.3:1，接近长网的水平，纸页的匀度也较好。这种圆网比较适用于用比较游离的纸料（滤水性较好的纸料）抄纸。

（4）Gedeco 薄页成形器：Gedeco 薄页成形器是最近发展的一种新型圆网部，其结构示意图如图 2-3-59 所示。

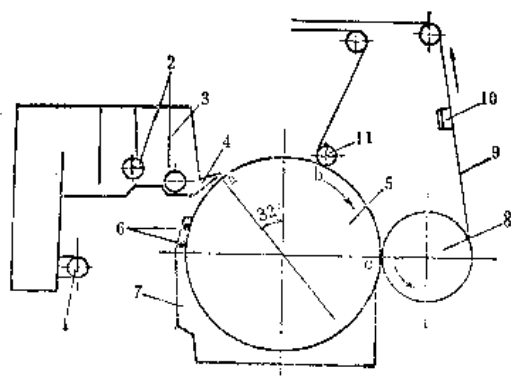


图 2-3-58 快速成形圆网示意图

1—进浆管 2—匀浆辊 3—流浆箱 4—唇板 5—抽气网笼 6—高压喷水嘴 7—密封式白水槽 8—真空吸移辊 9—毛毯 10—毛毯吸水箱 11—毛毯辊

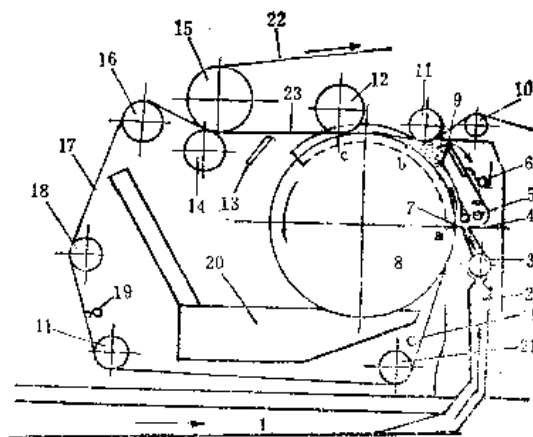


图 2-3-59 Gedeco 薄页成形器示意图

1—扩散器 2—布浆器 3—匀浆辊 4—堰板 5—搅拌器 6—溢流管 7—唇板 8—网笼 9—溢流闸 10—毛毯辊 11—水平辊 12—张紧辊 13—案板 14—接触辊 15—伏辊 16—网辊 17—网 18—校正辊 19—喷水嘴 20—白水盆 21—伸展辊 22—湿纸页 23—毛毯

Gedeco 薄页成形器由进浆部分、圆网和短网组成的脱水部分、以及支持脱水和输送湿纸页的无端毛毯等三个部分组成。整个网部没有单独的分部传动，而是与一般的圆网造纸机一样，由下压榨辊通过毛毯传动伏辊，再由伏辊传动网部。网笼由短网传动。

这台成形器的最大特点，是它的脱水部分由一台直径 1500~1800 毫米的普通网笼（网笼只有 12~14 目的里网，没有面网）和一条作为面网的 10 米长（网目 80 目）的无端短网组成。它的形成和脱水过程可以分为三个阶段，从 a 点到 b 点为第一阶段，其形成和脱水的方法与一般圆网纸机大体相似，主要是依靠网内外压力差进行成形和脱水，多余的纸料经溢流闸板 9 和溢流管 6 回流。在 b 点到 c 点之间为第二阶段，通过网笼上的无端网与毛毯的挤压作用进行脱水。到 c 点进入脱水的第三阶段，在 c 点短网与网笼分离，由于网笼的高速运转，从这点开始产生流体动力学的真空抽吸作用（与长网部案辊产生真空抽吸作用的原理相同）；车速越高，真空抽吸作用也就越大，当车速为 300~600

米/分时,真空抽吸作用达到 $1.29 \sim 5.17 \times 10^4$ 牛顿/米² (1.27~5.1 米水柱)。由于真空抽吸作用,使湿纸页能够进一步脱水,而不需要使用其他的产生强制真空的装置,从而达到节省动能和减小噪音的目的。

使用 Cedeco 成形器抄造定量 20 克/米² 的纸张时,最高车速可达到 500 米/分,这种成形器适用于抄造定量 7~40 克/米² 的纸张。

(四) 夹网

1. 夹网成形器的特点及发展概况

夹网成形器是造纸机网部的一种新的结构型式,它的基本特点,是纸料悬浮液喷射到两网之间的夹区同时进行两面脱水,并很快地形成纸页,因而也可以认为夹网成形器是强制形成纸页的设备,夹网成形器的出现,改变了造纸机的传统概念。

自从五十年代后期,出现第一台制造多层纸板的夹网成形器以来,夹网成形器就成为长网部发展的主要项目,尤其是六十年代末以来,夹网成形器更有重大发展,目前已在造纸领域中占有重要的地位。夹网成形器能够以长网难于达到的车速生产各种品种、规格的纸和纸板,并且具有占空间小、电耗低、抄造出来的纸和纸板质量一般较好等优点。到 1978 年为止,世界上已有 100 台以上的配备夹网成形器的造纸机——夹网造纸机投入生产,并预计在今后将有更大的发展。例如,加拿大在 1977 年有 15% 的新闻纸用夹网造纸机生产,预计到 1987 年,这个比例将达到 50%;又例如,斯堪的纳维亚国家,1977 年有 30% 的新闻纸用夹网造纸机生产,而预计到 1982 年这个比例将达到 50%。

虽然到目前为止,已发展了二十多种结构型式不同的夹网成形器,但不论是那一种结构型式的成形器基本上都具有下列的特点:

(1) 配备有高效率的流浆箱,一般是使用能够产生高强度微湍动的满流式流浆箱或满流气垫结合式流浆箱(如集流式流浆箱、高湍动流浆箱等),这点是提高夹网造纸机车速和产品质量的关键因素。其原因是由于纸料悬浮液喷射到夹网成形器的两网之间后,很快就形成纸页,形成的纸页,直接地反映流浆箱喷出的纸料悬浮液的纤维分散或絮聚的情况,因此就要求流浆箱喷出的纸料必须是充分分散的纤维悬浮液,且在速度和湍动分布上是均匀一致的。做到这一点,就能够为夹网成形器形成纵向和横向纤维均匀分布、纸页两面差小、匀度好的纸页创造条件。

(2) 配备有在高速度运转下大量脱水的装置,如各种高效率的脱水元件(包括强有力的真空脱水元件),以保证夹网成形器在比一般长网网案短得多的形成脱水区内,有效地脱去大量的水,同时又保证产品的质量。

目前一般的夹网成形器还存在一些问题,主要是:细小纤维和填料留着率较低,使用塑料网还有出现条纹的现象,有一些夹网成形器(如 Bel Baie II 型)两张网都使用塑料网还有一些问题;由于使用真空部件,因而动力消耗和噪音都比较大。为了解决这些问题,近年来做了一些工作,并有所进展。例如,为了解决动力消耗和噪音大的问题,出现了不使用真空脱水元件,而使用离心脱水的纸板迴转成形器,这种成形器可以不用真空泵,从而节省动力消耗和减小噪音。

2. 夹网成形器的分类

根据夹网成形器的发展情况,用以抄造纸张的夹网成形器可以分为制造薄纸的和制造其他纸张的等两大类。制造薄纸的夹网成形器主要的有 Beliot 薄纸成形器、Periformer (KMW) 成形器等几种;制造新闻纸、文化用纸和其他纸张的夹网成形器有立式夹网成形器 (Verti Forma)、Bel Baie II 成形器、Dom 巴伯列成形器、KMW 巴伯列成形器、快速成形器 (Speed former)、Sym 成形器 (Sym-former)、圆网-三角短网夹网成形器等多种。这里只介绍几种较为典型的夹网成形器。

(1) 立式夹网成形器 (Verti Forma): 立式夹网成形器是最早成功地用于纸张制造的一种成形器,第一台立式夹网成形器于 1968 年投入生产。图 2-3-60 所示的是经过几次改进的第三代立式夹网成形器示意图。

立式夹网成形器的特点,是使纸料悬浮液在重力作用下,通过两张立式夹网进行均匀的两面脱水。纸料由压力流浆箱 1 的喷浆口流出后,在进入夹网脱水区之前,有一段自由下落的距离,通常为 400~750 毫米;在这段距离中纸料流动保持稳定,然后与网接触,通常纸料先与一号网 8 接触,然后经过一段距离,在第一压网器前不远的地方与二号网 7 接触,并开始脱水。

立式夹网成形器的脱水高度一般只有 1.7~2.5 米,脱水的时间只有 0.2~0.4 秒。其形成脱水区的前段使用压网器 3 作为脱水元件,而后段则使用具有分级真空度(即真空度逐渐提高)的真空箱 4 作为脱水元件。通过调节压网器的位置、网的张力和真空箱的真空度,来控制脱水和纤维的留着。由于夹网成形器在形成过程中有一定的扰动,因而形成的纸页匀度较好,但填料的留着率较低。

立式夹网成形器适宜于抄造普通和胶印新闻纸、电话簿纸、瓦楞原纸、纸袋纸、涂布原纸、书籍纸、书写纸等品种。抄造的纸张的定量范围为 34~160 克/米²,纸机的最高抄速为 900 米/分,但一般多数在 350~650 米/分的范围内运转。纸机的抄宽一般为 3.3~5 米,最大抄宽为 8.1 米。

从一些使用的情况来看,立式夹网成形器存在的问题有:脱水能力较低,因而影响车速的进一步提

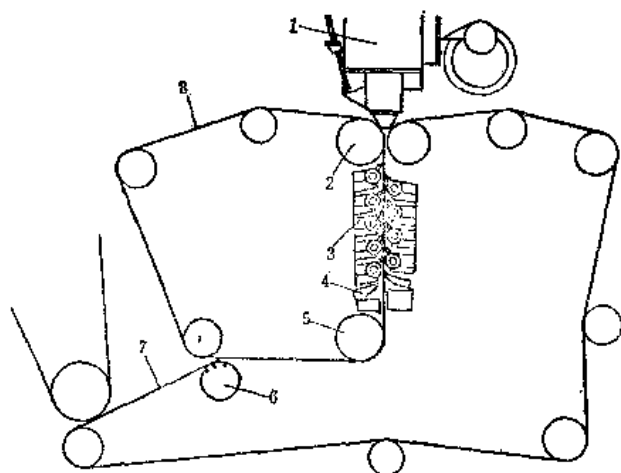


图 2-3-60 立式夹网成形器示意图
1—流浆箱 2—胸辊 3—压网器(挡水板) 4—真空箱
5—平导辊 6—真空伏辊 7—二号网 8—一号网

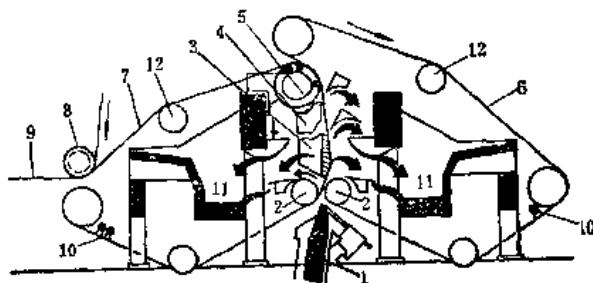


图 2-3-61 Bel Baie II 型夹网成形器示意图
1—集流式流浆箱 2—成形辊 3—弧形成形板 4—真空箱
5—真空伏辊 6—一号网 7—二号网 8—真空引纸辊
9—毛毯 10—水管 11—白水槽 12—校正辊

高；使用高分子聚乙烯的压网器磨损较大，影响到抄造条件的稳定，因而目前也有的纸机采用陶瓷压网器；以及填料的留着率较低等问题。

(2) Bel Baie II 型夹网成形器(弧形夹网成形器)：Bel Baie II 型夹网成形器是一种性能较好、投产台数较多(到 1978 年为止，已投产的夹网成形器中，Bel Baie II 型夹网成形器约占 $\frac{1}{4}$) 的一种夹网成形器。其示意图如图 2-3-61 所示。

Bel Baie II 型夹网成形器的特点：由两个迴转网套组合而成，在两网合併部分呈弧形，形成区的半径大约有 5 米。在二号网 7 上有装有几块挡水板(每块距离 0.15 米)的弧形成形板 3、低真空度真空箱 4 和多室真空伏辊 5 等脱水元件。集流式流浆箱 1 设在网的下部。

由集流式流浆箱来的纸料，从底部喷到两网汇合处，被两网夹着进入成形区，最初纸料受到两网挤压脱水，形成辊 2 起到支持网并把最初脱出的水排出的作用，随后贴在一号网的一面靠离心力脱水，而贴在二号网的一面则借弧形成形板低真空度真空箱和真空伏辊脱水。两网脱水的数量大致相同，纸页到达真空伏辊后，被吸引到二号网上，然后由真空引纸辊 8 引到引纸毛毯带到压榨部，由于形成区的半径约 5 米，比其他的夹网成形器(如 Papri former 成形器)大，因而形成压力也较低，约 10.13×10^3 牛顿/米²(1 米水柱)。较低的形成压力对于提高填料的留着率是有好处的。

Bel Baie II 夹网成形器具有下列的优点：

① 集流式流浆箱的飘片几乎延伸到堰板的开口处，这就使得在开始脱水之前，有充分的时间消除湍流和窜动。再加上在形成区产生的流体切变，因而有良好的成形和匀度。

② 成形区的半径有 5 米，因而脱水时间较长，脱水力量逐渐加大，从而降低薄型纸的针眼和气孔度。

③ 网与脱水元件之间的接触压力小，因而磨损少，动力消耗也低。

④ 由于白水盘和白水坑设计好，因而泡沫和气泡问题较轻。

⑤ 操作比一般长网机方便。

Bel Baie II 型夹网成形器适宜于抄造新闻纸、低定量电话薄纸、涂布原纸、不含磨木浆的印刷纸和书写纸、凹印纸、瓦楞原纸、衬垫纸板。抄造纸的定量范围为 35~210 克/米²。最大型的 Bel Baie II 型夹网造纸机的抄宽为 9.8 米、车速 1200 米/分，生产新闻纸。目前大部分的 Bel Baie II 型夹网造纸机的工作连速为 730~1000 米/分，纸机抄宽多数为 5.5~7.7 米。

Bel Baie II 型夹网成形器当前存在的问题是：一号网使用塑料网还有困难，主要是易于造成条纹，寿命也比较短，在这方面近年来做了很多研究工作，取得一定进展。除此之外，今后 Bel Baie II 型夹网成形器的发展将着重于研究单一流浆箱抄造具有 2、3 或 4 层纸页的多层纸，这将改变纸页结构的概念，并降低成本，改进纸张的性质。

(3) 巴伯列成形器(Papriformer)：巴伯列成形器包括 Dom 巴伯列成形器和 KMW 巴伯列成形器两种，如图 2-3-62 所示。

这两种成形器的纸页形成过程，基本上是相同的，纸页在由二号网与围绕着的成形辊 2 (是一条真空辊)和在张力下的一号网 4 之间形成。纸料由流浆箱 1 喷射到两网之

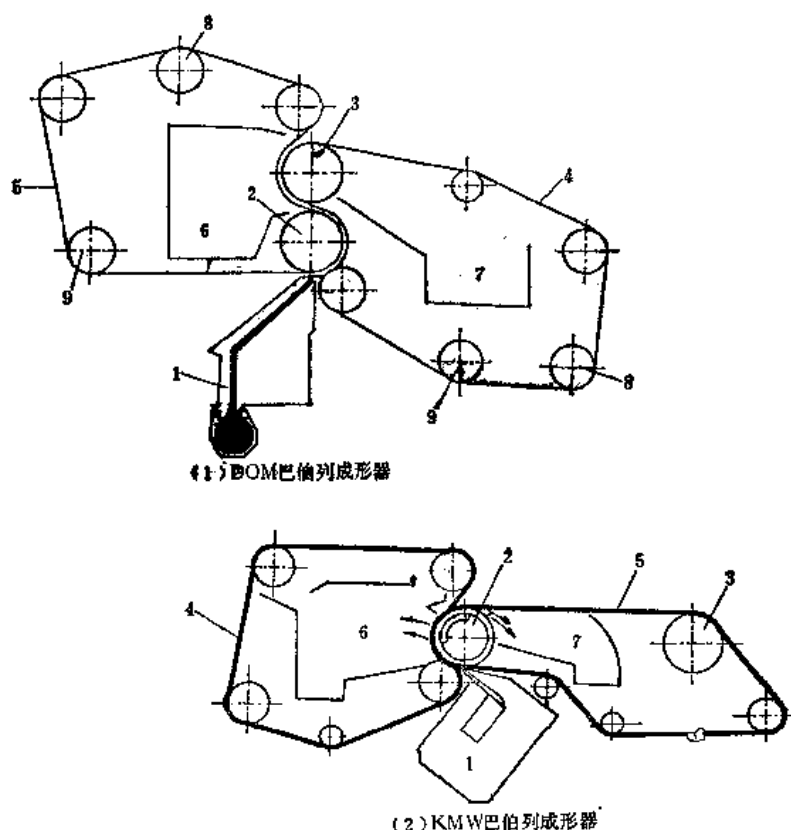


图 2-3-62 巴伯列夹网成形器示意图

1—流浆箱 2—成形辊 3—真空伏辊 4—一号网 5—二号网 6、7—白水槽 8—校正辊 9—紧网辊

间，纸页的成形压力由成形辊的直径和网的张力决定，通常这个成形压力为 $5.07 \sim 10.13 \times 10^3$ 牛顿/米² (0.5~1 米水柱)。当成形辊的直径为 1~1.3 米时，成形长度为 1 米左右。成形辊的真空度约为 1.01×10^4 牛顿/米² (76 毫米汞柱)。由于在成形区没有与网接触的固定的脱水元件，因而在纸页成形过程中没有扰动，因此纤维和填料的留着率比较高，根据一些试验的情况表明，在网上浓度 0.6%，车速 600~1200 米/分的情况下抄造新闻纸，留着率可达 70~80%。由于没有固定的脱水元件，巴伯列成形器还具有脱水均匀对称、纸页匀度较好、维修工作量较少、网寿命较长等优点。

Dom 巴伯列成形器，适合于抄造普通或胶印新闻纸、含有磨木浆的特种纸、印刷纸、书写纸等。抄造纸张的定量范围为 21~130 克/米²。用这种成形器抄造薄纸的造纸机，最高车速达到 2000 米/分，大部分抄造一般纸张的纸机的车速为 650~920 米/分，纸机抄宽大部分为 5.4~7.7 米。

KMW 巴伯列成形器，在结构上比 Dom 巴伯列成形器简单，主要适合于抄造新闻纸、杂志纸、文化用纸、防油纸、瓦楞原纸、餐巾纸等，抄造纸张的定量范围为 20~300 克/米²。造纸机的抄速范围为 600~915 米/分。

(4) Beliot 薄纸成形器：Beliot 薄纸成形器是一种抄造卫生纸和薄纸的新型纸页成

形器，其主要特点是结构简单，没有真空脱水装置，如图 2-3-63 所示。

当一号网 2 和二号网 3 运行到成形辊 4 上时，满流式流浆箱 1 中的纸料即喷入两网之间，并在离心力和张力的作用下进行脱水。一号网脱出来的水流入白水槽 5、6，二号网脱出来的水，则流入白水槽 7。在成形辊 4 之后，一号网即与成形的纸幅脱离，这时纸幅便随同二号网继续运行至真空引纸辊 8，而被吸引到压榨部。

Beliot 薄纸成形器主要用于抄造各种薄纸。第一台 Beliot 薄纸成形器于 1976 年投入生产，近年来又有几台投入生产。这种成形器结构较简单，抄宽比较窄（一般是 1.9~3.6 米），但车速较高，一般都在 1000 米/分以上，最高车速达到 1900 米/分。

（五）高浓成形和泡沫成形

1. 高浓成形

（1）高浓成形的概念和原理：高浓成形是指在纸料浓度 3~6% 的高浓情况下形成纸页。因而高浓成形是在流浆箱中形成纸页，而不像一般的造纸工艺是在网部形成纸页。

高浓流浆箱的简要示意图如图 2-3-64 所示。

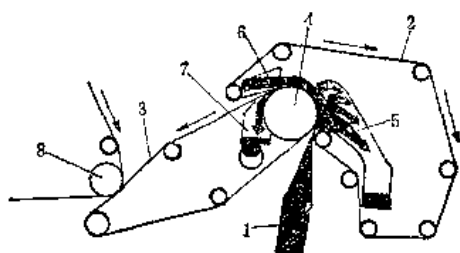


图 2-3-63 Beliot 薄纸成形器示意图
1—流浆箱 2—一号网 3—二号网
4—成形辊 5、6、7—白水槽 8—引纸辊

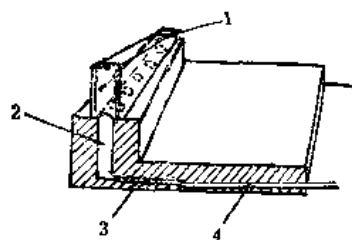


图 2-3-64 高浓流浆箱简要示意图
1—布浆器 2—圆柱管道 3—成形区 4—稳浆管道

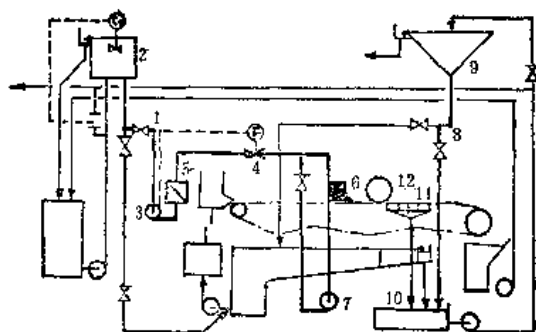


图 2-3-65 高浓成形在工业上的应用流程示意图

1—附加支管 2—浆位箱 3—变速泵 4—磁性流量计 5—筛浆机 6—流浆箱 7—溢流泵 8—附加管 9—纤维回收槽 10—白水池 11—真空箱 12—水印辊

浓度为 3~6% 的纤维悬浮液，由纸机横向分布器通过若干根圆柱管道 2，进入成形区 3，在成形区由于流道的弯曲，而产生充分的涡流，从而打破纤维的絮聚。在直的出口管 4 内湍动减弱，结合成有机械强度的纤维网状物，从而形成湿纸页。由于这种特殊的成形方法，纸页的结构不同于有明显分层结构的普通纸页。高浓纸页具有更多的交织结构，这就有助于纸页的机械性能和压榨干燥性能。

（2）高浓成形的流程：高浓成形的试验工作是从 1970 年开始的，到目前为止，这个工艺的发展已经历了实验室试验、中间工厂

试验和工业应用等三个阶段，工业应用是1974年2月开始进行的，其流程如图2-3-65所示。

- 这个流程的特点是：高浓装置与现有的普通流程平行安装，使造纸机既可用该两种流程中的任何一种流程运行，又可将两种流程结合起来生产一种双层产品。浆位箱2的管道上引出一支管1，纸料经支管1，由一个变速泵3（速度由磁性流量计4控制）泵送，通过筛浆机5到流浆箱6，流浆箱的溢流浆由溢流泵7返回进浆管。流浆箱6置于网上紧靠水印辊前面。由另一根管线使纤维回收槽9出来的淤浆流至贮存从真空吸水箱11出来的白水的白水池10。这套装置在前段曾用于生产机外涂布的美术纸原纸，定量80~270克/米²，最高车速250米/分。经过一段的试验发现，目前的纸料净化系统不能用于高浓度纸料的净化，因而影响纸张的质量，因此，就把高浓流浆箱移到另外的一台抄造瓦楞芯纸的造纸机上，用高浓成形抄造净化质量要求不高的瓦楞芯纸。

(3) 高浓成形的特点和发展：高浓成形具有下列的特点：

① 由于上网纸料量大大减少，因而流浆箱、管线和有关设备大为缩小，节省投资和减少动力消耗，并减少干燥部的蒸汽消耗。

② 由于高浓成形的纸页的纤维排列是比较混乱的，Z方向的强度比较高，因而抄成的纸页的纵向抗张强度比较低，横向纸幅的两边的可压缩强度比较高，因此从目前已达到的工艺水平看来，并不是所有品种的纸张和纸板都适宜于采用高浓成形。高浓成形比较适合于那些要求较高的内部结合，对纵向强度要求不高，但对横向可压缩强度要求较高的产品，例如用于生产某些纸板是比较合适的

③ 由于高浓成形上网浓度高，堰板的开度小，因而堰板的微小偏差将对纸页的横幅定量有明显的影晌，因此使用高浓成形时要特别注意纸页横幅定量控制的问题。

为了更好地扩大高浓成形的使用范围，使高浓成形能够适应于抄造一般纸张的要求，看来必须解决与高浓成形相适应的纸料高浓净化筛选技术和在高浓情况下均匀的分布纤维的问题。

2. 泡沫成形

泡沫成形是纸页成形的又一种新方法，它的特点是将纸料分散在非常小的泡沫中，得到分布得非常均匀的纤维悬浮液，由于分散的纤维的惯性运动，在未絮聚之前很快就受泡沫的影响而稳定下来，从而克服了纤维的絮聚问题。这样就能够使用长纤维抄造比较均匀的纸张，此法已进行了实验室的试验和中间工厂试验。从试验的结果表明，泡沫成形是一种适应性较强的抄纸方法。

(六) 造纸网

造纸网是造纸机网部的重要组成部分，与网部的其它部件配合，担负着纸页形成和脱水的任务，因而网的质量和性能对于造纸机的生产情况和纸张的质量都有比较显著的影响。

造纸网可以分为金属网（主要是铜网，也有不锈钢网）和塑料网两种类型。铜网是传统使用的一种网，目前在长网造纸机上还用得较多；塑料网是六十年代发展起来的一种新型造纸网，具有节约重要的有色金属、网柔软易于装网、耐磨和耐腐蚀、脱水性能好，成本低等优点。目前，我国已在圆网造纸机上广泛的使用塑料网，并在长网造纸机上试

用塑料网。在有些国家，已在长网造纸机上普遍地使用塑料网，取得较好的效果。例如，到 1976 年为止，美国已有 74% 的长网造纸机使用塑料网，加拿大有 82% 的造纸机使用塑料网，估计到 1978 年底，美国和加拿大的长网造纸机，基本上都使用塑料网。

1. 铜网

铜网是造纸机的贵重器材，为了保证造纸机的正常生产，提高纸页的质量并降低铜网的消耗，要求铜网必须符合下列的要求：网线要光滑；网面要平整；网幅松紧要一致；网的密度和厚度要一定，而且稳定；网身要有一定的柔软性和挺度；网要耐磨损；网病要较少。

(1) 铜网的基本概念：

① 经线和纬线：铜网是由铜线按经纬线的排列而组成的。经线指纵向的铜线，纬线指横向的铜线。经线亦即贯通铜网纵向全长的铜线，一般是用磷青铜制成的，其成分为：铜 89~96%、锡 4~10%、磷 0.1~0.5%。经线的成分与网的纬密有关，纬密越大的网，经线的锡含量也应相应的高一些。例如织造 65 目的长网，纬密 45 根左右时的经线含锡量为 6~7%，而当纬密达到 52 根时，经线含锡量应提高到 8.5%。纬线也即贯通铜网横向全宽的铜线，纬线一般用黄铜制成，其成分为：铜 65~81%、锌 19~30%（单织网采用的成分为：铜 79~81%、锌 19~21%）。由于经线在造纸机上要承受较大的张力，而且要承受不断的弯曲和伸直的作用，因此对经线的要求特别严格，经线受张力必须一致，否则铜网就很容易产生皱折。由于经线经常处在较大的张力的情况下，也就必然会使纬线发生弯曲。为了防止这种现象的发生，纬线的直径一般应比经线的直径大 10% 左右，例如国产的 65 目单织网，经线直径为 0.23 毫米，纬线直径为 0.25 毫米。经线和纬线均应具有一定的耐酸性和耐碱性，以适应抄纸过程中的工艺要求和洗刷铜网的需要。

② 网目和纬密：网目也即网号，是指每英寸（25.4 毫米）宽度内经线的根数或在这个范围内网孔的个数。也可以用每厘米宽度内经线的根数来表示。例如对于单织网和捻织网，65 目就是表示每英寸宽有 65 根经线，同时也表示每英寸宽有 65 个网孔。至于三经网则以 A/B 的关系来表示网目，分子 A 表示每英寸宽网孔的个数，而分母 B 表示每英寸宽经线的总根数。例如网目（网号） $55/165$ 就是表示每英寸宽有网孔 55 个、经线 165 根。

造纸用的铜网多为矩形网孔，也称为“长目”网，即网目的纵向比横向长。因此在一般的单织网中，纬线的根数少于经线的根数。纬线的根数用纬密表示，纬密是指每英寸长的网内纬线的根数。在一般情况下，纬线的根数约为经线根数的 60~70%，根据车速较高的造纸机的生产情况看来，纬密比较大的网比较好用。

(2) 铜网的种类和规格：铜网一般可以分为单织网、三经网、捻织网等三种类型。几种铜网的结构示意图，如图 2-3-66 所示。

单织网（单丝网）又可以分为平纹网、半斜纹网和斜纹网等几种。平纹网的结构如图 2-3-66(1) 所示。平纹网是由经线和纬线交叉编织而成，一根经线交错地通过纬线的上、下，但其通过的方向与邻近一根线的方向相反，亦即第一根经线通过纬线的下部，第二根经线即应通过纬线的上部，这样单线编织而成的铜网，其经线距离是一致的。斜纹网

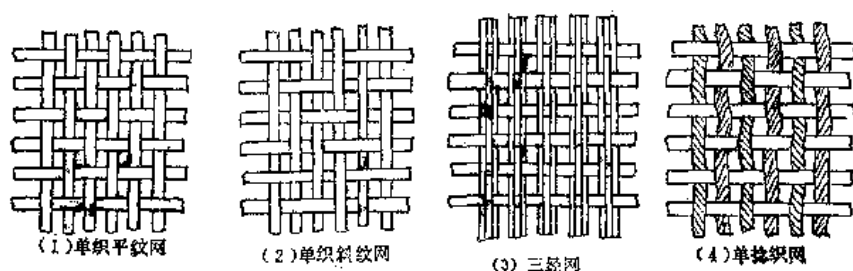


图 2-3-66 铜网结构示意图

的结构如图 2-3-66(2)所示。斜纹网编织的特点是：经线的重叠和纬线的重叠之分布是往同一方向、同一根线上移动。在这种情况下，在网上形成沿对角线行动的斜条纹。半斜纹网也称三线斜纹网，它的特点是：经线交替地贯穿从底面上来的两根和从上面下去的第三根纬线上。由于结构的不同，单织平纹网与造纸机各个辊的接触面积仅有 55%，而斜纹网、半斜纹网则有 60~70%。增加接触面积，可以降低网线单位面积所受的压力，间接地提高铜网的耐磨性能，从而延长铜网的使用寿命。根据一些高速造纸机的运行情况表明，平织网的使用寿命只有半斜纹网的 40~66%。因此，目前车速比较高的造纸机都趋向于使用半斜纹网。

三织网(三经网)的结构，如图 2-3-66(3)所示。三织网是由三根经线和一根纬线组成，三根经线并列成为一组，中间的一根和两侧的两根相互交错通过纬线。三织网又称纹织网。

捻织网又可以分为单捻织网和复捻织网，单捻织网的结构如图 2-3-66(4)所示。它只有经线采用捻线，纬线仍为单线。复捻织网则经、纬线均采用捻线。捻线是在金属芯线周围绕上 5~7 根铜丝，捻绞而成。捻线有较大的弯曲性，适合于网目较大的铜网。如长网抄浆机就是使用 20~25 目的捻织网，从一些使用的情况看来，复捻织网比单捻织网的使用寿命长一倍以上，其原因这是由于单捻织网虽然经线强度较高，但纬线是单丝，强度不够，在运行中发现有纬线开裂的现象，因而对于长网抄浆机来说，以选用复捻织网较为合适。

各种国产铜网的规格，参看轻工业部部颁标准 QB 326-62、QB 327-62、QB 328-62。

(3) 铜网的选用：在生产过程中，主要是根据造纸机的形式(长网、圆网、夹网)、网部的规格(长网网案的长度和对网宽的要求、圆网网笼的直径和宽度)、纸张的品种和纸料的性质来选择铜网的种类规格和目数、长度和宽度。

网的种类和网目的选择，不仅直接地影响到产品的质量，而且对纤维的流失和铜网的消耗定额的影响也很大，因而必须根据实际情况慎重地选用。一般来说，抄造薄纸，应该采用高标号的网目，某些特殊的薄纸还必须使用三织网。例如打字纸、糖果纸、半透明纸、字典纸、高级书写纸可以选用 80 目单织网；特号打字纸可以选用 90 目单织网或 65/195 三织网；卷烟纸、考贝纸等薄纸选用 65/195 三织网；电容器纸可以选用 85/255 三织网。抄制一般的文化用纸和工业技术用纸，可以选用 60~70 目的单织网，例如特号和 1 号胶版印刷纸等，可以选用 70 目单织网；凸版印刷纸、胶版印刷纸、书写纸可以选用 60~70 目单织网(圆网造纸机也有用 80 目单织网)；新闻纸、有光纸、描图纸、防油

纸、照相原纸等可以选用 65 目单织网；纸袋纸、包装纸可以选用 60~65 目单织网。一般纸板，如草纸板、箱纸板可以选用 40 目单织网。圆网造纸机的里网，一般用 8~16 目单织网，抄浆机可以选用 20~25 目捻织网。

至于网的长度和宽度的确定，圆网造纸机的铜网长度等于网笼的圆周长度，而铜网的宽度则等于网笼的宽度；长网造纸机的网长和网宽可按照前节介绍的方法计算，但为使网长准确可靠，计算出来网长还要经过网部圈路图校核后确定。长网使用的是无端网，而圆网使用的是有端网，由造纸厂自行把网焊到网笼上。

(4) 铜网的消耗定额：铜网的消耗定额，是指单位产品铜网的消耗量，以米²铜网/吨纸表示。

铜网是造纸机的贵重备品，降低铜网的消耗定额对于节约重要有色金属、增加造纸机的作业时间、提高产量、质量和降低成本，均有重要的意义。根据目前的情况，各种类型的造纸机铜网消耗的示例，如表 2-3-11 所示：

表 2-3-11 各种类型造纸机铜网消耗示例

造 纸 机 型 式	纸 和 纸 板 品 种	网 耗 (米 ² /吨纸)	备 注
长 网 造 纸 机	新闻纸、凸板纸、书写纸	0.1~0.25	一般为2.5~3.5
长 网 造 纸 机	胶版印刷纸	0.08~0.18	
长 网 造 纸 机	纸袋纸、包装纸	0.08~0.12	
长 网 造 纸 机	卷烟纸	0.5~0.6	
长 网 造 纸 机	电容器纸	1.5~6	
长 网 造 纸 机	电缆纸	0.15~0.27	
长 网 抄 浆 机	浆板	0.02	
单 网 单 缸 纸 机	有光纸	0.06~0.16	
双 网 双 缸 纸 机	凸版纸、书写纸	0.08~0.3	
多 网 多 缸 纸 机	箱纸板、草纸板	0.02~0.08	

从表中的情况可以看到，在同一类型的造纸机生产同一品种的产品时，由于情况的不同，在消耗定额方面的差别也较大，因而如何延长铜网的寿命，对于降低铜网的消耗是很重要的。而铜网的编织方法和质量是影响铜网的使用寿命的重要因素。例如，单织半斜纹网比单织平纹网、双捻织网比单捻织网均有较长的使用寿命；提高铜网的经线含锡量(例如由 6.5% 提高到 8%) 也能较显著地提高铜网的使用寿命；改进铜网接头的焊接质量(圆网机的焊网质量)和减少网病也能延长铜网的使用寿命。除此以外，减小网的磨损(如改进真空箱箱面材料，使长网在运行过程中有合适的均匀蛇行和摆动)、改进铜网在运行过程中的操作等也能够提高铜网的使用寿命，从而降低铜网的消耗定额。

(5) 铜网的更换：

① 长网造纸机铜网的更换：旧式的低速长网造纸机，换网时要将网案上铜网行程内部的所有辊子(下伏辊除外)、真空箱、白水盘、喷水管等都全部拆出，在空出了的网案大梁间将新网展开后，再将其一一放回原位。这种换网方法不但劳动强度很大，换网所需要的时间较长，而且也比较容易碰伤铜网和网案的脱水元件。因此，在较新式的造纸机上，都设有专门的换网装置。

换网装置可以分为移出式(机械换网)和穿网式(悬臂换网)两种。

移出式换网的特点是,在铜网行程内部的所有部件(下伏辊除外)都安装在网案的大梁上,并可以整体地移出到造纸机的操作边。换网时,在伏辊悬臂后,将新铜网套入伏辊,并在已经移出的网案部空出的位置上将网展开,然后再将网案移入,完成换网操作。

穿网式(悬臂换网)换网是一种比较新式和比较完善的换网方法,我国目前设计制造的长网造纸机,基本上都是采用这种换网的方法。这种换网的特点是,整个网案可以悬臂地位于传动边支承和专门设置的第三支承上。换网开始以前,可以将新网在造纸机的操作边展开在换网车上,换网时,用油泵和油缸将操作边的网案横梁抬高2~3毫米,然后就可以拆去机座上的可移出部分,网案便悬臂了,再将已预先张开的网穿入网案,便完成换网操作。这种换网方法方便迅速,因此,得到比较广泛的应用。

② 圆网造纸机换网:圆网造纸机都有备用的网笼,在换网前先将铜网焊好在备品网笼上,在换网时将要换网的圆网笼吊出来,再将已焊好新网的备品网笼吊进网槽。

2. 塑料网

(1) 塑料网的种类和编织方法:塑料网可以分为多丝网和单丝网两类。

① 多丝网:多丝网是一种由十分细的大量单丝捻成的并经树脂处理以增强其刚性的线所织成的网。这种网虽然具有使用寿命长、细小纤维和填料的留着率较高的优点,但这种网的柔软性较差,因而在纸页成形和脱水过程中,要获得所需要的“可控制的微湍动”比较困难,加之受到尺寸稳定性较差的限制,因而这种网一直没有得到较广泛的应用,目前趋向于使用单丝网。

② 单丝网:单丝网是由制成为一定直径的单一的丝织成的网。单丝网按编织方法,可以分为编织无端单丝网和缝接网两类。编织无端单丝网(环织网)是在编织机上织成无端的网,织造这种网需要比较大型的织机,这种网结构的特点是无缝无端编织的,在运行的方向的经线不起折,稳定性是由纬线的起折而达到的。由于这种网的磨损是由纬线承担,其形状与金属网不同。缝接网(平织网)是与金属网一样织成平张,然后用缝接的方法使其无端,这种网的纬线起折比金属网好,网面平滑,磨损是由经线及纬线二者承担。由于特殊的聚脂单丝材料的发展和应用,单丝网已广泛的应用于各种类型的造纸机,包括高车速、大抄宽的造纸机。

(2) 塑料网的材料:织塑料网的线丝的种类繁多,目前国内外使用的有聚脂纤维、聚酰胺纤维、锦纶(尼龙6)、聚乙烯、聚丙烯等。在这些材料中,以聚脂纤维最为适用,其原因是由于聚脂纤维与其他的材料相比具有:在负荷下伸长较小,高的抗张强度,对温度及湿度稳定,吸水性较低(与尼龙相比约为其1/16),在湿的条件下性质不变,刚度大,耐磨性较强,抗疲劳强度高,耐腐蚀性(特别对酸)高等特点。这些特点对于长网和夹网是非常重要的,因而聚脂纤维广泛的用于单丝塑料网的织造。

(3) 长网造纸机使用塑料网:塑料网可以用于各种类型的长网造纸机,生产包括新闻纸、印刷纸、薄页纸、高级纸、牛皮纸、纸袋纸、瓦楞纸、纸板等多种品种的纸张和纸板,根据塑料网的特性,在使用塑料网时,应注意下列的问题:

① 网案脱水元件的种类及其表面材料的选择:从一些经验表明,使用案辊作为脱

水元件的网案使用塑料网时，由于塑料网比铜网软，网较显著地易于包复在案辊上，从而增加跳浆的问题。而使用真空抽吸作用比案辊低的案板作为脱水元件，与塑料网结合起来使用则能取得良好的使用效果，因此，对于车速在 450 米/分以上的造纸机，使用案板是用好塑料网的一个重要的条件。

由于成形板和固定的脱水元件（如案板、真空箱）的板面材料对塑料网的磨损情况，对塑料网的寿命有显著的影响，因而必须使用磨损指数低和摩擦系数低的硬质材料作为板面材料，例如高密度聚乙烯、硬质陶瓷、聚氨脂、碳化硅、碳化钨、氧化铝等。其中又以高密度聚乙烯和硬质陶瓷使用较为广泛。木材和层压材料等由于上述性能差，因而不宜使用。

② 网的伸长和张力控制：由于塑料网的丝的网有性质及其结构因素，使得塑料网的伸长率比铜网大，一般铜网的伸长率为 0.3%，而塑料网的伸长率达到 0.5~1.5%，因此，在纸机的网案结构上，要考虑伸长余量的问题，必要时还必须增设网辊。

塑料网在运转时保持适当的张力对网的寿命、造纸机的生产能力以至纸张的质量均有很大的影响，因而对张力必须合理地控制。一般认为，网的张力以 $3.92 \sim 6.87 \times 10^3$ 牛顿/米（4~7 公斤/厘米）较为合适，如果张力过低，会引起纸料在网上跳动，破坏纸页的匀度，造成网起皱，并缩短网的寿命，以及网打滑等问题；反之，如果张力过大，也会造成网起皱等问题。

③ 真空伏辊的腐蚀：在使用铜网时，铜网是造纸机腐蚀的牺牲阳极，因而纸机的组件如铜真空伏辊，是受保护而免受腐蚀的；而使用塑料网时，由于塑料网不受腐蚀，因而增加了铜质真空伏辊表面的腐蚀。真空伏辊表面的点腐蚀，特别是圆孔的圆周上的腐蚀，就会造成塑料网的磨损，从而缩短网的寿命。据报导，最严重的情况，在七天内就可以把塑料网完全磨坏。真空伏辊的磨损往往是在使用塑料网几年以后才会出现。为了解决真空伏辊腐蚀的问题，可以采用不锈钢真空伏辊、真空伏辊挂胶和真空伏辊挂玻璃钢等措施。

④ 功率消耗：与使用铜网相比较，塑料网需要较大的牵引负荷与功率消耗，其功率消耗约增加 5~10%。而且在功率分配上，与使用铜网时也有所不同，驱动辊应占 60%（使用铜网时为 40%），而真空伏辊为 40%（使用铜网时为 60%），以防止塑料网打滑和起皱等问题。

⑤ 塑料网的冲洗：由于塑料网的寿命长，因而要求比铜网更要注意网的冲洗问题。可以安装高压针型摆动水管来冲洗网孔中的尘埃、树脂和纤维，并应根据需要，定期用化学药品（如各种有机溶剂、5~10% 的烧碱，10~20% 的盐酸或硫酸等）来全面清洗塑料网。

此外，使用塑料网时，在网案上还必须装设展网辊。

（4）夹网造纸机使用塑料网：目前夹网造纸机已较广泛地使用塑料网，但在某些类型的夹网造纸机（如 Bel Baie II 型）的一号网（背网）使用塑料网还有一些问题。为了使塑料网适应夹网造纸机的要求，用于夹网造纸机的塑料网必须具备下列的特点：

- ① 横向柔软性高；
- ② 纵向与横向均具有均匀的张力；

③ 有较高的抗收缩性能，能够承受较高的抗张强度；

④ 有较高的留着能力，以保证形成较均匀的纸页。

(5) 圆网造纸机使用塑料网：塑料网已广泛的应用于各种类型的圆网造纸机，在使用塑料网时，应注意下列的问题：

① 网的选择：圆网机一般选用编织无端单丝网(环织网)，单丝材料可以采用聚脂纤维，也可以采用低压聚乙烯。低压聚乙烯原料来源较多，成本较低，单丝机械强度高，化学稳定性好，特别是遇热具有收缩性，使网能够绷紧于网笼上，这就使得环织圆网的应用成为可能。在选用塑料网时，应按照网笼的准确尺寸订购，以免环织网太松或太紧。

② 套网方法：塑料网套网时，应先把塑料网套上网笼，套好后要注意网线不要歪斜，要用粗铜线或塑料线将两边缝住，然后再在热水槽中加热，热水温度为 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，边加热边转动，至网收缩绷紧为止。

(七) 造纸用水封闭循环和白水回收

1. 造纸用水封闭循环和白水回收的目的和作用

造纸用水封闭循环，就是使用各种有效的方法处理造纸机的白水 and 废水，把水中的固体悬浮物(细小纤维、填料等)的含量降低到生产过程中允许再使用的范围内，并使之代替清水循环使用，以达到节约清水用量、回收纤维、填料、化学药品和热量、降低排放废水量、减少对环境的污染等目的。

生产实践证明，造纸用水封闭循环能够大量节约清水用量和大幅度地减少造纸废水的排放量，使生产每吨纸的水耗从 $200\sim 300$ 立方米降低到 $30\sim 50$ 立方米，甚至降低至 $10\sim 20$ 立方米的先进水平。例如，曾有一台使用水封闭循环系统的新闻纸机，生产每吨纸只耗用清水 18.6 立方米，排出废水量只有 10 立方米。根据一台打字纸机的试验也表明：使用水封闭循环系统，可以使生产每吨纸的清水消耗量由 230 立方米下降到 50 立方米。

要实现造纸用水封闭循环，其关键在于白水的回收和利用。也就是在造纸机的浆水系统中，连续的大量利用白水(尤其是高浓白水)的基础上，使用高速、高效的办法使多余的白水 and 废水得到澄清，回收固体物，并在该系统中最大幅度地循环再用处理后的水，而对那些必须排放的废水，也应该从本系统中以最低的固体悬浮物量排放。在此同时，还应把回收的固体物(纤维、填料)，以受控的稳定速度输送回造纸机的浆水系统或送到其他的造纸机回收使用。

2. 造纸废水的性质和特点

造纸废水主要是白水，白水的量和性质随纸张的品种、造纸机的结构和车速、纸料的性质、化学添加物(如胶料、填料、染料、化学助剂等)的种类和用量等条件的不同而异。据报导，每吨纸排出的白水的总固体物在 $5.0\sim 50$ 公斤左右，在总固体物中，有一半是浮游性悬浮物，另一半是沉降性悬浮物，还有其他的溶解物质。每吨纸排水中的BOD值(生物耗氧量)约为 15 公斤左右。

造纸机不同的部位脱出的白水浓度和筛分是不相同的。例如，长网造纸机网下白水(高浓白水)的浓度，就显著地高于真空箱白水的浓度，而真空箱白水的浓度，又高于伏

辊白水的浓度。但从一些筛分的情况看到：网下白水所含的纤维中的细小纤维含量约为上网纸料的 1.5~2 倍；而真空箱白水所含的纤维中的细小纤维含量，均为上网纸料的三倍。

有些部位的废水，还具有某些特点，例如，洗涤毛毯的废水含有毛毯的细毛；使用淀粉作为表面施胶剂的表面施胶装置（如水平表面施胶辊），排出的废水的 BOD 值较高等。在处理废水时，对这些问题都要加以考虑。

3. 造纸用水封闭循环的方法和流程

一台造纸机用水系统的循环，按照封闭程度的不同可以分为三级：一级循环（初级循环）是指将网部的高浓白水（例如长网造纸机的网下白水），送到造纸机的浆水系统循环使用；二级循环是指将一级循环过剩的白水，以及真空箱、伏辊、压榨等部分的白水回收处理，并将处理后的水回收使用；三级循环是指将二级循环多余的白水和其他的废水（如洗网废水、洗毛毯废水等，这些废水的特点为含纤维少，但含杂质较多）回收处理，然后循环使用及少量的排放。如果能够做到三级循环，则整个系统水的封闭循环程度是比较高的。

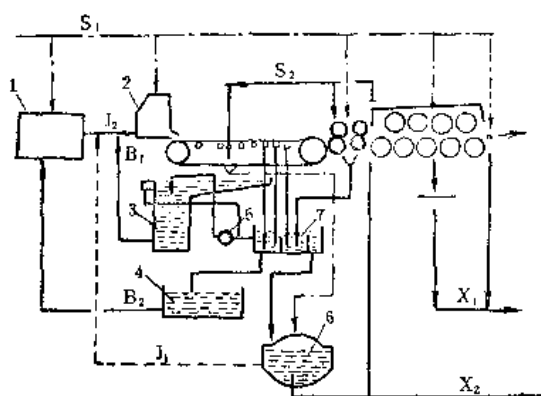


图 2-3-67 造纸用水封闭循环系统示意图

1—纸料制备系统 2—流浆箱 3—网下白水
池 4—白水池 5—低浓白水泵 6—白水回
收装置 7—水封池 I_1 —纸料 I_2 —回收纤维
 B_1 —高浓白水 B_2 —低浓白水 S_1 —清水 S_2 —
循环水 X_1 —不含纤维的废水 X_2 —纤维含量
低的废水

图 2-3-67 所示的是一台造纸机用水封闭循环系统的示意图。

这个系统基本上做到三级循环，具有下列的特点：

（1）为了便于白水的利用和回收，并减轻白水回收设备的负荷，采用浓度不同的白水分别收集和分别处理的办法，尽量避免浓度高的白水混到浓度低的白水中。例如，为了保持水封池的白水的浓度尽可能的低，网下白水池的高浓白水不溢流到水封池，而送到低浓白水泵的吸入口，以控制网下白水池的液位。由于压榨部出来的白水浓度与低浓白水相接近，因而直接送入水封池。冲洗网部的废水由于纤维含量很低，因而直接送至白水回收装置的入口，以降低白水回收设备的

的负荷。

（2）所有的剩余白水和含有纤维的废水都经过白水回收装置处理。回收的纤维送回纸料制备系统，澄清水则一部分用作网部和压榨部的喷水，一部分排入地沟。

这一系统由于封闭循环较好，因而每生产一吨新闻纸，只耗用清水 18.6 立方米。

在使用草浆（尤其稻草浆）为原料的造纸系统，如何合理使用从白水中回收的纤维，是一个值得注意的问题。其原因是草浆（尤其稻草浆）非纤维细胞含量高，纤维平均长度较短，纸浆的粘度较大，抄造性能较差，而从草浆白水回收的纤维中，又大部分是细小纤维和非纤维细胞，这些纤维如加到原来的系统循环使用，就可能进一步恶化抄造性能，影响造纸机的抄造正常，这点对于车速较高的长网造纸机的影响尤为显著。因此，

在长网造纸机车速较高的情况下，处理回收的纤维的方法，以采用送到其他车速较低的造纸机(如圆网造纸机、纸板机)使用，而不回原来的系统循环的办法比较适宜。

4. 白水回收的方法和设备

目前使用的白水回收设备，按工艺的原理可以分为沉淀(澄清)、过滤和浮选三大类。在白水回收的系统中，一般是使用一种类型的设备，但也有一些白水回收系统是把两个类型的设备结合起来使用的。例如，有的系统将沉淀法的沉淀池和过滤法的滤布过滤器结合起来使用，取得较好的效果。

(1) 沉淀法：沉淀法的特点，是通过沉降的方法将由水中的纤维和填料分离出来，达到回收纤维和填料并澄清白水(或废水)的目的。沉淀法又可以分为自然沉淀法和混凝沉淀法两种。混凝沉淀法的原理是基于水中的悬浮颗粒，其沉降速度与粒子半径的平方成正比，因而在白水中加入混凝剂，能够使白水中的细小纤维和填料失去稳定性，和混凝剂水解胶体凝聚成较大的绒体。这种绒体具有吸附能力，不但能吸附悬游的细小纤维和填料，还能够吸附一部分细菌和溶解物质。绒体在混凝过程中，颗粒逐渐增大，从而加快了沉降的速度，到一定的沉降条件时，就能够从水中分离，沉降下来。一般使用的混凝剂的电解质，是与白水中悬浮物具有相反电荷的金属离子或高分子化合物。根据一些工厂处理白水的经验，以采用硫酸铝作为混凝剂，水玻璃作为助凝剂较为合适。由于混凝沉淀法具有上述的特点，因而混凝沉淀法的沉降速度比自然沉淀法快。分离效果较好，效率也较高，但需要消耗混凝剂和助凝剂。为了提高分离的效果，又不致于过多耗用混凝剂和助凝剂，有的回收系统首先用自然沉淀法处理白水，分离出大部分的纤维和填料，再用混凝法处理经过自然沉淀法处理的白水，以提高澄清水的质量，取得较好的效果。

沉淀法使用的白水回收设备主要有：白水塔、沉淀池、加速澄清池、斜管和斜板沉淀法等。这里主要介绍加速澄清池。

加速澄清池是处理低浓白水和造纸废水的一种比较有效的设备。其结构与一般水处理用的加速澄清池的结构，基本上是相同的，如图 2-3-68 所示。

加速澄清池是泥渣(固体物)循环型的池子，池体由第一反应室 6、第二反应室 13 和分离室 11 组成。混凝剂由加药管 1 加到进水管 4 中，白水(或废水)和混凝剂利用进水管和配水槽的流速完成急速混和和化学反应，然后进入第一反应室 6，在反应室与几倍于进水量的活性泥渣在搅拌器 5 的搅动下进行凝聚，再经过搅拌器提升进入第二反应室 13，继续进行凝聚，结成较大的绒体。然后经导流室 2 稳定水流后流入分离室 11。由于分离室面积较大，水流突然降低，绒体依靠重力下沉，上层清水经集水槽 3 引出，下沉的泥渣一部分进入污泥浓缩室 14，定期排除，大部分的泥渣在搅拌器转动的影响下，又

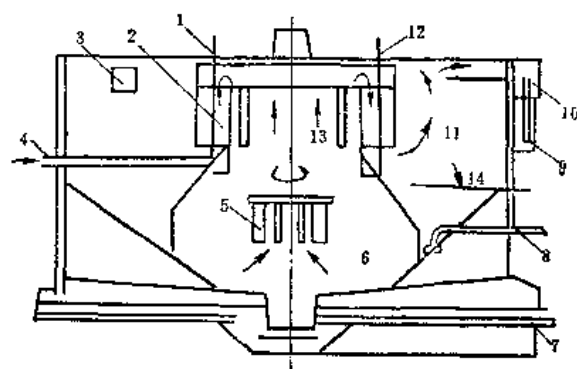


图 2-3-68 加速澄清池示意图

1—加药管 2—导流室 3—集水槽 4—进水管 5—搅拌器 6—第一反应室 7—放气管 8—排泥管 9—出水管 10—溢流槽 11—分离室 12—加气管 13—第二反应室 14—污泥浓缩室

回到第一反应室，循环流动。

使用加速澄清池处理低浓白水和废水效果较好。例如，进入澄清池的白水浓度为 0.041%，经过处理后，澄清水的沉淀物的浓度可降到 0.008%，排出的沉淀物的浓度可达到 0.56%。

(2) 过滤法：过滤法是采用各种型式的过滤介质处理白水和废水的一种方法。过滤法使用的设备可以分为两大类：一类是各种形式的过滤回收机，如圆盘式过滤机、真空过滤机、双鼓过滤机、圆网浓缩机和各种型式的纤维回收筛（DSM 斜筛、压力筛等）；一类是各种形式的过滤池，如快滤池、带有过滤器的沉淀池等。过滤机可以处理浓度较高的白水，而过滤池则适用于处理固体物含量很低的稀白水和废水。这里主要介绍圆盘式过滤机。

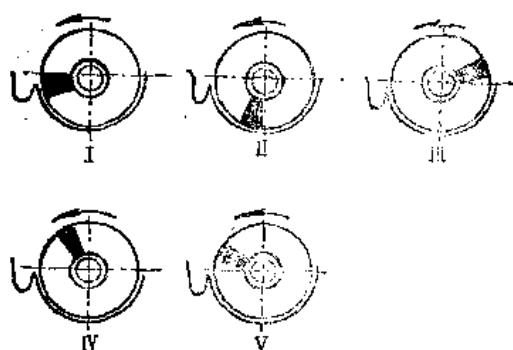


图 2-3-69 圆盘式过滤机的操作程序

圆盘式过滤机的主要部分，是由若干片（例如 6~12 片 $\phi 2500$ 毫米左右的过滤圆盘）竖立安装在有轴套的中心轴上的过滤圆盘所构成。每个过滤圆盘由若干块（例如 8 块）复有过滤介质的扇形过滤板所组成，过滤介质可以使用锦纶网等材料。在中心轴的轴套上沿着圆周分为与扇形过滤板数量相同的若干格，在过滤过程中，固体物沉积在过滤介质的表面上形成一层过滤层，而水则通过滤层

和过滤介质流入扇形区，再通过扇形区底部的开口进入中心轴的轴套中，水沿着中心轴流动，并从中心轴的末端流出。在中心轴的末端装有真空分配板与固定不动的分配头接触，组成真空分配装置。控制圆盘式过滤机，按图 2-3-69 所示的程序操作。

整个操作过程可以分为五个程序：

① 在真空条件下，在过滤介质的表面上，形成过滤层（纤维垫）：当扇形过滤板浸入到白水中时，水和一部分固体物（细小纤维和填料）通过过滤介质开始流动，因此在开始的一段，通过过滤板分离出来的澄清水较浑浊，固体物含量较高。在此同时，较长的纤维在过滤介质上逐渐形成纤维垫，也即形成了过滤层，这一区的真空度一般为 $2.33 \sim 3.32 \times 10^4$ 牛顿/米²（175~250 毫米汞柱）。

② 在真空条件下的过滤层（纤维垫）过滤：由于在 I 区形成了纤维垫过滤层，因而在这区的过滤过程中，能够把细小纤维和填料沉积于过滤层之上，从而使通过滤板分离出来的澄清水比较清洁，固体物含量很低。由于滤层的形成，过滤阻力增大，因而在这区必须有较高的真空度，一般为 $3.32 \sim 3.99 \times 10^4$ 牛顿/米²（250~300 毫米汞柱），但真空度也不宜过高，以免造成取下滤层时的困难。

③ 消除真空，取下滤层（纤维垫）：当圆盘继续旋转，聚集着固体物的滤层从浸没的水中露出来，这时真空作用消失，冲浆喷水管从扇形过滤板上冲下滤层，含有细小纤维和填料的滤层落入纸料回收池中。

④ 喷淋冲洗圆盘表面。

⑤ 重力排水。

圆盘式过滤机澄清白水的效果好，回收纤维和填料的效率较高，因而得到比较广泛的应用，尤其是用于高速造纸机效果就更显著。

(3) 飘浮法：飘浮法白水回收的原理，是将白水先用空气饱和，附着在纤维上的空气泡，使纤维比重减轻而上升至液体表面，形成纤维层，然后再用刮板收集回收。飘浮法的主要设备有飘浮式白水回收机。此法由于回收的纤维含有空气，回收纤维所消耗的电力和化学药剂（如松香）较多，成本较高，设备占地面积也较大，因而目前已用得不多。

(八) 造纸车间浆水平衡

1. 造纸车间浆水平衡的概念

造纸车间浆水平衡是指：造纸车间在生产过程中，浆的平衡（即绝干物料——纤维加填料的平衡）和水的平衡，也即浆和水总量的平衡。

造纸车间浆水平衡的基准：以生产一吨成品为基准进行平衡计算，也可以以造纸机一个小时的产量为基准进行平衡。

进行浆水平衡的测定，计算和编制浆水平衡图表，一方面使生产企业和管理部门能够正确地判断造纸车间的生产情况和浆、水及其他各种辅助材料（如填料等）的消耗情况和流失情况，为加强生产管理、提高产品的产量和质量、降低原材料和辅助材料的消耗提供可靠的资料；另一方面，为造纸车间的设计提供可靠的数据，这些数据对于技术经济指标的确定，设备能力的平衡，各种池、槽、箱、器的容积和各种管道的直径的计算，以至生产流程和方案的确定等，均是重要的依据。几种纸张的浆耗情况示例如表 2-3-12。

表 2-3-12 几种纸张的浆耗

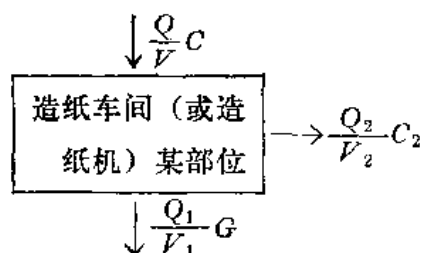
纸张品种		凸版纸	胶版纸	有光纸	书写纸	卷烟纸
浆耗 (公斤/吨纸)	先进水平	880	800	830	840	890
	较先进水平	900~950	810~850	880~940	900~950	900
	一般水平	1000左右	900左右	980~1040	1000左右	950左右
	消耗较高	1100以上	1000左右	1050以上	1080以上	1000以上

从表 2-3-12 可以看到，同一种产品的单位产品浆耗，先进水平与一般水平、一般水平与消耗较高的情况相比，差距是很大的。例如，生产一吨凸版印刷纸，先进水平是生产一吨纸耗浆量为 880 公斤，而一般水平则在 1000 公斤左右，消耗较高的还达到 1100 公斤以上。造成这些差距除了与某些工艺条件（如填料用量）有关外，很重要的一条，是与纤维的流失情况有关，纤维流失量越大，浆耗就越高。因此，在生产过程中，进行必要的浆水平衡测定和计算，找出纤维流失的情况和原因，并针对这些原因，采取必要的措施（如加强白水的回收和利用，以至造纸用水的封闭循环），对于降低浆耗是很重要的。

2. 计算的原理

浆水平衡是根据质量守恒定律的原理进行计算，进入造纸车间（或造纸机）某一部位（如造纸机的压榨部）的物料（绝干物料和水）应等于自该部位输出的及流失的物料

之和。其平衡图和平衡方程式表示如下：



固体的物料平衡方程式：

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2-3-21)$$

浆料平衡方程式：

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} \quad (2-3-22)$$

$$\frac{Q}{V} = C \quad \frac{Q_1}{V_1} = C_1 \quad \frac{Q_2}{V_2} = C_2 \quad (2-3-23)$$

式中 Q ——进入造纸车间某部位的固体物料量(公斤/吨成品)；
 Q_1 ——自造纸车间某部位输出的固体物料量(公斤/吨成品)；
 Q_2 ——自造纸车间某部位流失的固体物料量(公斤/吨成品)；
 C ——进入造纸车间某部位的纸料浓度(%)；
 G ——自造纸车间某部位输出的纸料浓度(%)；
 C_2 ——自造纸车间某部位流失的纸料浓度(%)；
 V ——进入造纸车间某部位的纸料(或白水、清水)总量(米³)；
 V_1 ——自造纸车间某部位输出的纸料(或白水)总量(米³)；
 V_2 ——自造纸车间某部位流失的纸料(或白水)总量(米³)。

为计算方便起见，纸料或白水中的辅料(如松香胶，颜料等)因含量很少，可以不计；纸料(或白水)的比重以等于1计。

3. 计算的步骤和方法

浆水平衡的计算，可以按下列的步骤和方法进行：

- (1) 首先按照现场的情况，绘出生产流程图，并根据生产流程图绘制浆水平衡图，然后按生产流程的逆方向逐步推算。
- (2) 在计算之前，必须列出车间的技术经济指标和平衡计算的依据数据。这些数据可以通过对生产现场的测定而得到。
- (3) 在计算时，必须已知 Q 、 C 、 V 中的两项，才能进行平衡计算。
- (4) 把计算出来的数据填到浆水平衡图中，在浆水平衡的分数中，分母为纸料或白水总量，以“米³”为单位表示；分子为纤维量，以“公斤”为单位表示；其侧所示的为纸料或白水浓度，以“%”表示。

三、压 榨 部

湿纸页在网部虽然已脱去大量的水分，已经有了一定的强度，但从伏辊处引出来的

纸，一般仍然还有 80% 左右的水分，湿纸页的强度也还不够大，如果把这样湿的纸页直接送到烘缸部去进行干燥，一方面因为湿纸页的强度差，容易断头；同时，湿纸中这样多的水分，全靠烘缸蒸发干燥，不仅消耗大量的蒸汽，而且这样干燥出来的纸，纸质不够紧密，表面粗糙，强度也低，所以从网部来的湿纸，需要在压榨部利用机械压榨作用进一步脱水提高干度的同时，增加纸的紧度，增强纸的强度，改善纸的表面性质（如平滑度），然后才送到烘缸部干燥（但生产餐巾纸一类皱纹纸例外）。

同时使用机械压榨脱水，在经济上也是比较合理的。与烘缸干燥比较，利用烘缸加热蒸发去掉一公斤水所花费的成本，要比机械压榨花的成本多得很多，例如在一台现代新式造纸机中，上网纸料中绝大部分的水（98.3%）是在网部脱掉的，在压榨部和烘缸部去掉的水，分别只有 1.1% 和 0.6%。但在网部、压榨部和烘缸部，脱掉同样重量的水所花的成本却大不相同，如以网部脱水成本作为基准，它们之间的成本分别约为 1:70:330。

据称，纸机压榨部湿纸多提高 1% 干度，烘缸部蒸汽消耗量减少约 5%。

从这个意义上讲，压榨部应当尽可能多地脱掉水分，但是机械压榨作用脱水毕竟有它一定的限度。湿纸经压榨部脱水，出压榨部的湿纸水分，因抄造的纸种而有不同，表 2-3-13 表示几种纸进出一一般纸机压榨部的湿纸水分变化情况：

表 2-3-13 湿纸页压榨前后的含水量（%）

纸 种	压 榨 前	压 榨 后
新 闻 纸	82~88	62~69
牛 皮 纸	83~90	65~70
印 刷 纸	78~82	60~68
食 品 包 装 纸 板	76~81	62~66

现在采用新式复合压榨，湿纸出压榨部的干度可以达到 48~50%。

（一）压榨部的作用及其组成

压榨部的作用：（1）主要是在网部脱水的基础上，借助于机械压榨尽可能多地脱掉湿纸中的水分，以便在干燥纸时尽可能少地消耗蒸汽；（2）将网部揭下来的湿纸页，传送到烘缸部去干燥；（3）在压榨脱水的同时，增加纸中纤维的结合力，提高纸的紧度和强度，减少纸机的断头损失；（4）消除纸的网痕，提高纸面的平滑度和减少纸的两面性。

除了生产吸收性要求高的纸种（如过滤烟嘴纸、滤纸、皱纹纸等压榨部主要只起递纸的作用）以外，一般纸机的压榨部都有上述四种作用。

普通长网纸机的压榨部由一组以上压榨辊组成，通常是 2~4 组，最后一组，在普通长网纸机多为光泽压榨，可参阅图 2-3-1、2-3-2 等图。

（二）湿纸页的传递

1. 传递方式

将湿纸页从伏辊铜网上揭下来传递到压榨，现在有三种方式，即开放引纸、粘纸引纸和真空引纸。纸机和纸板机究竟采用那种引纸方式，主要决定于车速和产品的定量。

(1) 开放引纸：适用于低速和中速的纸机。图 2-3-70 代表开放引纸中各个部件(包括引纸辊)的相关位置。

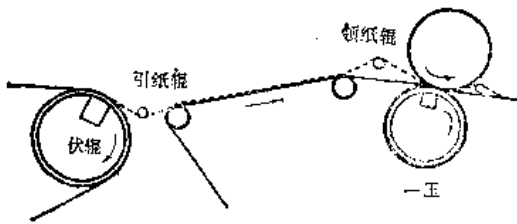


图 2-3-70 开放引纸

在使用真空伏辊以前，纸机的车速都比较低，湿纸从伏辊处引到一压，都是由工人手持一块半干纸料，将网部水针切开出来的湿纸引纸条，粘附在浆块上，迅速传到一压毛毯。自从使用真空伏辊以后，车速提高了，人工引纸也就产生了困难，于是在真空伏辊中装设压缩空气管(参阅图2-3-71)，由内向外将网上的引纸条吹到一压毛毯上，或者在伏辊和铜网回头辊中间安装压缩空气喷嘴，从铜网由内向外将网上的引纸条吹上一压毛毯。

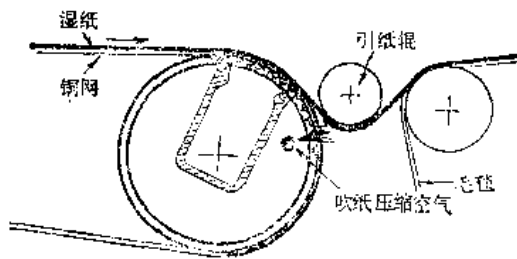


图 2-3-71 压缩空气吹纸

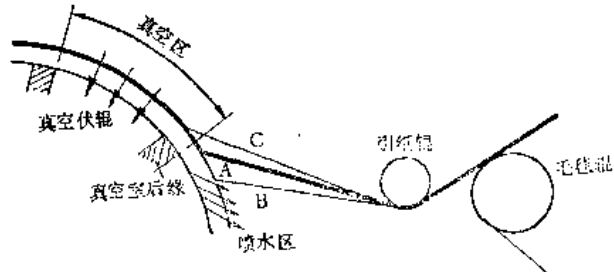


图 2-3-72 湿纸剥离点

湿纸在网上的剥离点位置非常重要。如果湿纸剥离点是在真空伏辊的真空区范围内(如图 2-3-72 中 C 所示)，揭纸时受到很大的张力，容易引起湿纸的断头。反之，如果是在喷水区(指真空伏辊辊壳转过真空区以后，眼孔中的水被离心力甩出的区域)范围内(如图 2-3-72 中 B)，这时纸的水分增加，湿纸强度降低，也容易引起断头，所以湿纸的剥离点应当在 BC 之内，剥离点应刚好在或略微超过真空伏辊内真空室后方边缘，这样既不会有漏气破坏真空度的现象，也不会因湿纸过渡松弛而引起皱折。

为了应付湿纸粘附力、湿强度和可伸长性的变化，引纸辊和一压为首的第一个毛毯辊的位置，应当是可调的。上述三类变化，是随纸料配比、网的材质、网目和洁净度，以及湿纸含水量的情况决定。引纸辊为了能够迅速向上移动，装有一快速提升装置，不致妨碍湿纸引纸操作。另外，湿纸与一压毛毯汇合的角度对纸机正常操作运转也很重要，最好的情况应当是湿纸略为向上爬上一压毛毯，以免湿纸下面带进空气，引起在进一压这一侧发生鼓泡现象，压榨发生皱折。

(2) 粘纸引纸：特别适合于中速和生产低定量纸的纸机(例如自动引纸纸机)。

粘纸引纸法，是将伏辊上的湿纸粘贴在引纸毛毯下面进行传递。图 2-3-73 表示一种用在大直径单缸纸机中的粘纸引纸方式。

粘纸引纸的优点是引纸结构简单，产纸网痕较轻，而且引纸毛毯的使用寿命较长。不过粘纸引纸操作运行要求的条件相当严格。

粘纸引纸毛毯需要组织结实，编织紧密，毯面平整，并须燎毛。现在多用针刺毛毯代替编织毛毯。

粘纸引纸时，纸和毛毯的含水量都很重要。粘纸引纸是靠着毛毯面上薄薄一层水膜的粘附作用和毛毯转过揭纸辊产生的微弱抽吸作用来传递湿纸的，因此要求毛毯清洁，尤其是在两边要特别干净。另外，伏辊后引纸毛毯的张力大小也很重要。

有的粘纸引纸纸机，采用沟纹伏辊(沟纹宽深各为 2.5 毫米)帮助将湿纸转移到毛毯上，这主要是靠铜网下伏辊沟纹中的气垫作用，此外沟纹伏辊也能排除较多的水。

因为粘纸引纸要求引纸毛毯要含大量的水，给一压带来了困难，为了避免湿纸“压花”，不能不减小一压的线压，因此降低了一压的脱水效率。其次，粘纸引纸靠的是水膜粘附作用和微弱的抽吸作用，纸的定量如果太大了，超过了湿纸与毛毯的附着力，将会产生毛毯粘不住湿纸的现象，所以它适用于抄造薄纸的纸机。第三，由于引纸毛毯毯面比较细密，以后将湿纸从引纸毛毯转移到一压毛毯比较困难。所以粘纸引纸多用在生产薄纸的圆网纸机或长网单缸纸机。为了解决上述引纸的困难，进而发展到第三种引纸方式——真空引纸。

(3) 真空引纸：真空引纸适用一般高速纸机和生产薄型纸的超高速纸机。这样引纸方法靠的是真空作用，它不仅可用于伏辊到一压间的引纸，同样适用于各道压榨间的湿纸传递。图 2-3-74 表示普通高速新闻纸或牛皮纸纸机真空伏辊和真空压榨的引纸示意图。

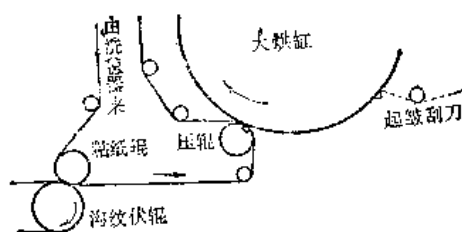


图 2-3-73 粘纸引纸

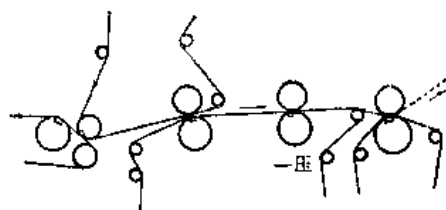


图 2-3-74 真空引纸

真空吸引辊装在伏辊上方或真空伏辊两个真空室之间。如果纸机网部有主传动辊(即回头辊或驱动辊)，更普通的位置是装在铜网传动辊之前，接触到真空伏辊与传动辊之间的一段网上。按理来讲，真空引纸的引纸毛毯速度应与网速一致，但实际上要做到这点比较困难，一般要求做到毯速略高于(0.2~0.3%)网速。毯速如低于网速，湿纸常常产生皱折；反之，如果毯速太高了，则又引起湿纸伸长，强度受到影响。

表 2-3-14 说明一台新闻纸纸机从开放引纸改造成为真空引纸前后断头情况。

可见在纸机改造以后，总断头次数只有原来的三分之一左右，并且，在伏辊处断头完全消灭，烘缸部断头大为减少，其他原因断头也降低约 50%。

2. 开放引纸湿纸张力及断头机理

在开放引纸的长网纸机中(参阅图 2-3-75)，湿纸页在伏辊处剥离和传递，主要是靠伏辊和—压之间有速度差，使湿纸页受到一定的张力，因而从伏辊处的网上剥离下来。开放引纸只靠湿纸本身的强度，而没有任何外界的支持，经引纸辊传递到—压毛毯上去。

湿纸页从伏辊处网上剥离下来，引到—压毛毯上去的时候，受力情况十分复杂，其中有湿纸与铜网间的粘着力、表面张力、离心力、惯性离心力、湿纸重力、惯性力和张

表 2-3-14

断头情况统计

断头部位	开 放 引 纸		真 空 引 纸	
	断头次数/月	占总断头(%)	断头次数/月	占总断头(%)
伏 辊	65	20.6	0	0
一 压	24	7.6	2	1.5
二 压	44	13.9	4	3.0
烘 缸	37	11.7	6	4.5
压光、卷取	52	16.5	58	48.3
其 他	94	30.7	52	42.7
共 计	316	100.00	122	100.00

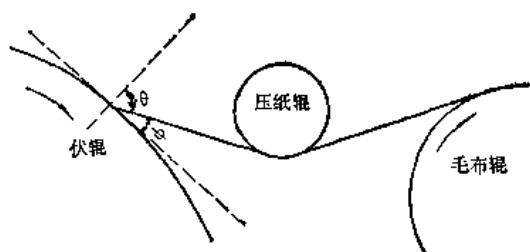


图 2-3-75 开放引纸与引纸辊

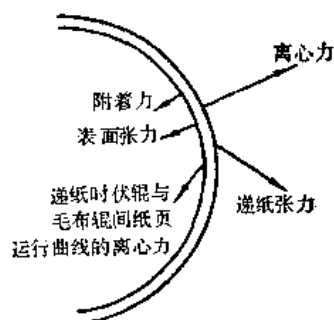


图 2-3-76 湿纸在伏辊上的受力作用图

力等(图 2-3-76)。1958 年马登(J. Mardon)根据揭纸时所作的功,等于克服粘着力、表面张力以及剥离纸时消耗的能量,得出:

$$S = \frac{W}{1 - \sin \theta} + mV^2 \quad (2-3-24)$$

或

$$S = \frac{W}{1 - \cos \phi} + mV^2 \quad (2-3-25)$$

式中 S ——湿纸页的张力(克/厘米);

W ——剥离功 (尔格/厘米²);

ϕ ——剥离角, $\theta = 90^\circ - \phi$;

m ——单位面积纸页质量(克/厘米²);

V ——纸页剥离速度 (厘米/秒)。

湿纸页离开伏辊的一点,称为剥离点。伏辊在剥离点的切线与湿纸页的夹角,称为剥离角(ϕ)。将湿纸从网面上剥离下来所需的功,称为剥离功(W),即克服 1 厘米²面积湿纸与铜网的粘着力和表面张力所需的功。剥离功 W 是剥离角 ϕ 的函数。

表 2-3-15 说明剥离功、剥离角、引纸张力之间的关系:

(2-3-25)式右边的第一项, $\frac{W}{1 - \cos \phi}$ 代表从伏辊剥离湿纸页需要的张力,它与剥离角有密切关系;(2-3-25)式右边第二项, mV^2 代表由于惯性产生的张力,它与纸页运行途径无关,但与速度有密切关系。

表 2-3-15 是霍伍 (B. I. Howe) 等人测出抄造新闻纸 (定量为 52 克/米²、水分为

表 2-3-15

剥离功 (W) (尔格/厘米 ²)	速度 (V) (厘米/秒)	剥离角 (ϕ)	张力 (S) (克/厘米)	占张力 S 的百分率	
				$W/(1-\cos\phi)$	mV^2
1,700 (定值)	760	30° (定值)	27.3	54.8	45.2
	890		31.8	46.8	53.2
	1,000		36.7	40.5	59.5
	1,250		48.3	31.0	69.0
	1,510		63.9	23.4	76.6

80%),当剥离功(W)与剥离角均为常数时(分别为1,700尔格/厘米和30°),湿纸页剥离运行速度 V 与马登公式(2-3-25)右边第一、二项的关系。从表2-3-15可以看出,提高纸机车速,总张力 S 随之增加, mV^2 占总张力的比重(百分率)逐渐加大,而 $W/(1-\cos\phi)$ 占总张力的比重却逐渐减小。

如果将 $W/(1-\cos\phi)$ 作纵座标、 ϕ 作横座标,作出张力 S 与剥离角 ϕ 的关系,如图2-3-77。

根据马登公式,当

$$\phi=0^\circ \text{ 时, } 1-\cos\phi=0, \quad \frac{W}{1-\cos\phi}=\infty;$$

$$\phi=90^\circ \text{ 时, } 1-\cos\phi=1, \quad \frac{W}{1-\cos\phi}=W$$

$$\phi=180^\circ \text{ 时, } 1-\cos\phi=2, \quad \frac{W}{1-\cos\phi}=\frac{W}{2}$$

在一般长网造纸机中,剥离角都比较小,通常是在30°左右。从图2-3-77可以看出, $\phi=30^\circ$ 时,总张力 S 很大(如图中实线箭头所示);而且总张力受剥离角的影响极为敏感,此时,剥离角稍有减小,总张力增长却异常之大。随着剥离角的增加, $\frac{W}{1-\cos\phi}$ 逐渐减小;增到120°左右,降到最低值。所以增加剥离角,可以降低剥纸时的张力,从而能够减少湿纸的断头;或者说,在增加剥离角的时候,即使提高车速,也不致于引起断头。

沃斯特贝格(L. Östevberg)考虑到了揭纸时湿纸页的应变,将马登公式修正为:

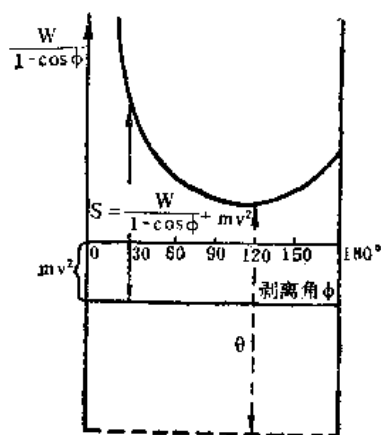
$$S = \frac{W(\phi) - S\varepsilon}{1 - \cos\phi} + mV^2 \quad (2-3-26)$$

$$= \frac{W(\phi)}{1 - \cos\phi} - \frac{S\varepsilon}{1 - \cos\phi} + mV^2$$

或

$$W(\phi) = (S - mV^2)(1 - \cos\phi) + S\varepsilon \quad (2-3-27)$$

式中 ε ——湿纸页的伸长(%);

图 2-3-77 $W/(1-\cos\phi)$ 与 ϕ 的关系图

其余符号与(2-3-25)式相同。

将(2-3-25)与(2-3-26)两式加以比较,可见沃斯特贝格公式中右边增加了 $-\frac{Se}{1-\cos\phi}$ 一项,即湿纸伸长时做功所消除的张力。而湿纸页的应变,也与剥离角的大小有关(参阅图 2-3-78)。

综上所述,在开放引纸情况下,要想提高纸机车速,具体措施有:(1) 增加剥离角;(2) 提高剥离湿纸的干度;(3) 减少湿纸对网子(或辊子)的粘着力和调整网部的一压之间的速比。

我国广州造纸厂应用这一原理,把 5 号机的剥离角从 41° 增加到 51° ,并且相应地调整了铜网和一压之间的速比,纸机车速可从 360 米/分提高到 370 米/分。

要想把纸机的剥离角增加到 90° 以上,实际中受到一压毛毯的限制,必须把它的行程加以调整,使毛毯在递纸处有相当的倾斜,便于平稳地引纸,同时还要将真空伏辊真空室的位置下移,保证能有较大的剥离角。

在这里,还要附带讲讲剥离角与湿纸撕裂裂口发展的关系(参阅图 2-3-79),当 $\phi < 90^\circ$ 时,一旦湿纸在揭纸时出现裂口,则将逐渐扩大;可是在 $\phi > 90^\circ$ 时,即使出现裂口,裂口又会逐渐自行封闭,因而可以减少伏辊引纸的断头。

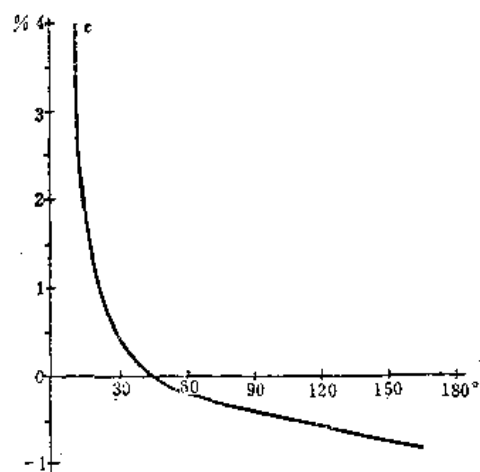


图 2-3-78 湿纸页应变与剥离角的关系图

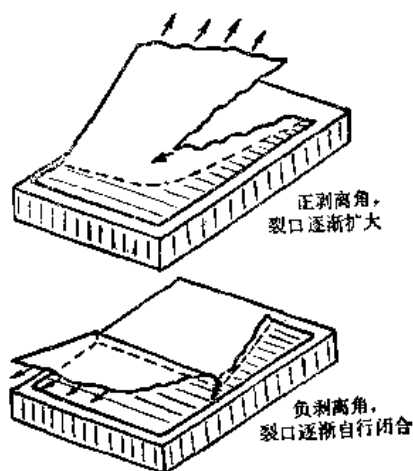


图 2-3-79 剥离角与撕裂裂口的发展

伏辊和一压之间的引纸辊所起的作用有:(1) 一方面是引导湿纸页取得大的剥离角,另一方面,使得自我平衡机构更加起到有效的作用。所谓自我平衡机构,即设湿纸在网上粘着力增加时,剥离功也因之增加,因此剥离湿纸页需要大一些的张力,纸页剥离点将趋于移向伏辊下部,使剥离角增加, $(Se/1-\cos\phi)$ 减小,因此自动减小张力 S 而取得平衡,将湿纸页剥离。当粘着力减少时情况相反,此即称为自我平衡机构。如果纸页剥离时,张力 S 超过自我平衡机构,而铜网工又没有即时调整伏辊与压榨间速比,纸将发生断头;(2) 引导湿纸页取得最好的运行曲线,减少其间的张力;(3) 压着湿纸页,使其在伏辊与一压之间不至于产生很大的抖动。

(三) 压榨辊型式及构造

压榨的类型很多,每组压榨按压榨辊的数目可分为双辊压榨和多辊压榨。双辊压榨

又可按其功用分为普通压榨、反压榨、光泽压榨、转移压榨、挤水压榨等；如以构造来分，又可分为平辊压榨、真空压榨、沟纹压榨、衬网压榨和网套压榨等。多辊压榨中，一组压榨由三个或三个以上的压辊组成，如三辊压榨、四辊压榨和高强压榨都属于这一类。

1. 双辊压榨

(1) 普通压榨和正压榨：上辊为石辊，下辊为胶辊(参阅图 2-3-1)。

普通压榨的上辊用易于揭纸的材料制成，纸厂多采用花岗石辊，它的主要优点是花岗石的组织中有微小的孔隙，储存着一定量的空气，湿纸极易剥离。但其缺点是成本高、性质脆、不耐撞击。同时，在运转中如轴头过热，会使辊面产生裂纹，严重时轴心脱落，造成重大事故。目前工厂多采用橡胶与石英砂混合制成的人造石代替天然花岗石，制作上压榨辊。

下辊是用包胶的铸铁辊。采用包胶的原因，除了它具有耐防腐的性质之外，还有很好的弹性，能够缓和上压辊对湿纸和毛毯的压榨作用，从而延长毛毯使用时间，减少湿纸“压花”，并且能让上下压辊达到更好的接触，压榨脱水均匀，还能补偿下压辊中高一程度的误差。

为了便于包胶，加强胶层和辊芯的结合力，特别将铸铁辊面加工出 2.5~3.0 毫米螺距的螺纹，清洗干净后，先包一层 3~6 毫米厚的硬质橡胶，再在它上面包 20~40 毫米厚的外层软橡胶，最后送入硫化罐，使胶辊达到需要的硬度。

胶辊的橡胶硬度在生产一般纸时，通常为 80~90°(肖氏硬度)。压榨部各道压榨所用胶辊的硬度，随着各道压榨线压不断提高，胶辊的硬度也应相应地加大。

胶辊的包胶方法，旧式是将胶片包裹在辊芯上，这样做出来的胶辊，压榨时施加线压稍大一些，容易出现胶辊脱层的毛病。最近，有用挤压包胶的方法，它是把挤压出来的胶条呈螺旋形地包在铁辊芯上(参阅图 2-3-80)。这样包出来的胶辊，和普通包胶方法包出的胶辊比较，不易脱层，因而可以提高线压，加强压榨脱水能力。

但是不管怎样，胶辊究竟还是有变形性大、耐磨性差和抗张强度低等缺点，使用胶辊的压榨，不能大幅度地提高压榨线压。

六十年代后期，国外开始应用聚氨酯代替橡胶制造压榨辊，与相同硬度的橡胶比较，聚氨酯的变形性小，断裂时的伸长比橡胶大五倍，耐磨性大六倍左右，抗张强度大三倍左右。所以使用聚氨酯作成的压辊，可以大幅度地提高压榨的线压力，大大加强压榨的脱水能力，而且辊子耐磨，不需要像胶辊那样经常磨辊子中高。

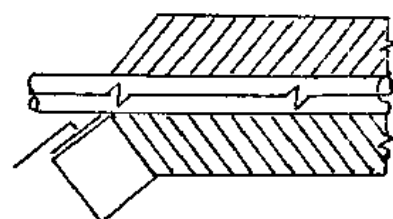


图 2-3-80 挤压法包胶

普通压榨的上压辊并不是垂直正压在下压辊上，而是稍微偏向进纸一边，因此上下两压辊的中垂线之间有一定的距离(称偏心距)。这是为了使湿纸首先接触上压辊，一方面赶走空气，同时达到逐渐增加上压辊对湿纸和毛毯的压力，不会骤然大量脱水，引起“压花”断头。压榨辊偏距一般为 50~120 毫米。压辊偏距大小，决定于压榨道数、压辊直径和纸机的车速。一压因为湿纸含有较多的水分，需要缓和一些脱水，所以要求偏距

最大；二压次之；三压的偏距最小，压辊直径大和车速高的时候，偏距也应随之加大。

在其他压榨条件相同情况下，有人认为：压辊偏距愈大，线压愈小，偏距越小，线压越大，这种认识至少是不全面的，甚至是错误的（原因参阅“压榨辊的中高”一段）。

普通压榨的下压辊为主动辊，上压辊为从动辊。

因为正压榨的上、下压辊也是石辊和包胶辊，所以普通压榨也就是正压榨，不过正压榨的下压辊，也有用真空压辊的。

正压榨的特征是湿纸进入压榨的方向与纸机运行方向相同，压榨时，纸的正面接触到石辊，故能提高纸张正面的平滑度。

(2) 反压榨：在反压榨中，湿纸进入压榨的方向与纸机运行方向相反（参阅图 2-3-1）。反压榨中的两个压辊也是石辊和包胶辊，而且上辊也是石辊，但因湿纸反方向进入压榨，等于湿纸翻了一个身，纸的反面（即网面）转来贴着石辊，所以反压榨能够减轻纸的网纹，提高纸张反面的平滑度和减少纸的两面差。

由于反压榨多由人工引纸，车速稍高一点，引纸操作上就感到困难，故反压榨一般只用在生产纸面平滑度要求特别高的低速高级纸纸机中。

(3) 光泽压榨：光泽压榨是纸机压榨部最后一道压榨，它的上压辊为包胶辊，包胶硬度为 $85\sim 90^\circ$ （肖氏），下压辊是一个表面极为光滑的包铜辊，一般上、下辊之间并无偏距。湿纸不用毛毯传递，直接进入压榨（参阅图 2-3-1 中 13）。

从表面上看，光泽压榨和普通压榨一样，应当也是对湿纸进行机械压榨脱水，但如仔细观察，不难发现，光泽压榨根本没有压出水来，这主要是进到光泽压榨的湿纸干度已经很大的缘故。它的作用主要是压平纸面，消除网痕和毯痕，提高纸的紧度和网面的平滑度。

由于湿纸通过光泽压榨后，纸的平滑度提高了，进入干燥部能更加紧密切贴在烘缸表面上，传热快，提高干燥效率，使烘缸数目可以减少 $3\sim 5\%$ ，或者节省干燥纸的蒸汽用量。

(4) 挤水压榨：亦称毛毯洗涤压榨。引纸毛毯和一压毛毯在生产过程中，容易被细小纤维、填料、胶料等堵塞弄脏。脏了的毛毯吸水性和透水能力都很差，因此在引纸毛毯和一压毛毯的回程中都装有挤水压榨（参阅图 2-3-1 中 8，图 2-3-2 中 13，和图 2-3-3 中 10）。在脏毛毯进到挤水压榨之前，先用喷水管或洗毯器清洗毛毯，再由挤水压榨将它挤到一定干度，然后再去引纸或参加一压脱水。

因为挤水压榨的用途和位置不同，引纸毛毯用的挤水压榨多呈水平或倾斜排列，压榨毛毯的挤水压榨多为垂直排列，其中一个为包胶辊，另一个为包铜辊或石辊，挤水压榨的线压采用 $15\sim 25$ 公斤/厘米。挤水压榨的压辊直径比普通压榨辊要小一些。

(5) 转移压榨：转移压榨用于真空引纸的中、高速纸机。

转移压榨上辊为普通平压辊，下辊为真空辊，压榨时使用的线压并不很大，只有 $1.46\sim 2.45\times 10^4$ 牛顿/厘米（ $15\sim 25$ 公斤/厘米），真空压辊的真空度也不高，只有 $2.94\sim 3.92\times 10^4$ 牛顿/厘米²（ $0.3\sim 0.4$ 公斤/厘米²），湿纸又是夹在引纸毛毯和压榨毛毯中间通过压区的（参阅图 2-3-2 中 14），所以它的脱水作用不大，主要是将湿纸从引纸毛毯转移到压榨毛毯。

(6) 真空压榨：真空压榨多用于中、高速纸机中。真空压榨的上压辊仍为压辊，但下压辊为真空辊。

真空压榨辊的构造与真空伏辊基本相同，辊壳由青铜或不锈钢铸成，辊壳厚度根据需要刚度和强度决定，假如纸机上其他条件不变(如车速、真空度等)，辊壳愈厚，脱水能力愈小。因为在高速造纸中，白水很少或根本不流进辊内真空室，这些白水在毛毯和湿纸内被吸出之后，经过辊上眼孔，还来不及达到真空室中，即已转过真空吸水区，真空作用破坏以后，即被辊子的离心力抛入白水盘中，因此真空辊的作用仅只用来抽吸辊壳眼孔中的空气，辊壳越厚，抽吸空气的体积越多。所以，采用刚强金属(如不锈钢)制成辊壳较薄的真空压辊，对提高压榨脱水效率是有利的。

真空压辊辊壳上包有橡胶，胶层原为 30~40 毫米。真空压辊包胶的好处是能使压力均匀分布，减少毛毯的磨损，因而能使用更高的压榨线压。

真空压辊上钻有直径为 4.0 毫米左右的眼孔，开孔率为 15~25%。真空压辊眼孔排列形式关系也很重要。眼孔辊子径向和周向均是螺旋形排列时(图 2-3-81)，真空压辊在运转时噪音和密封的磨损均较小。我国江西造纸厂生产实践证明，真空压辊上眼孔

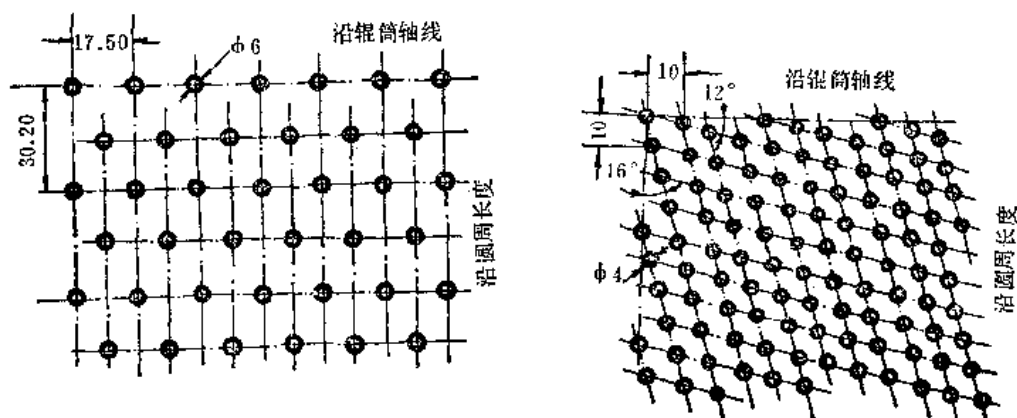


图 2-3-81 真空压辊眼孔排列

的轴向和周向中心距小些，眼孔数目多些，可以显著提高真空压辊的脱水作用，从而有效地消除压花现象，延长毛毯使用寿命。

真空压辊眼孔直径大小应妥为选择，一方面要使辊子有足够大的脱水量，另一方面也要考虑到开孔会影响辊子强度和在纸上留下“影痕”，一般真空压辊的眼孔直径约为 4 毫米。

由于湿纸在真空压辊眼孔上方和眼孔之间所含水分和压力梯度不同，使纸发生位移。真空压榨出来的湿纸，常常出现有眼孔排列形状的“影痕”(图 2-3-82)。使用细而松的毛毯、胶层比较软的真空辊和采用较小的真空眼孔，可以减轻这种纸病。

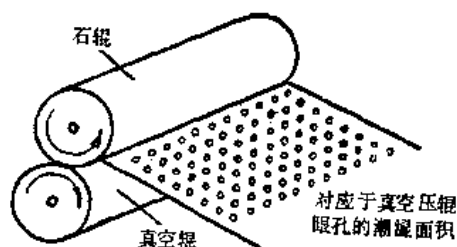


图 2-3-82 影痕图

真空压辊真空室的宽度比真空伏辊要窄一些，一般不超过 110~150 毫米。通常一压真空压辊采用 100~125 毫米宽的真空室，二压和三压的真空室宽度随压辊型式和真空度大小而有所不同；如标准型压辊在高真空度情况下，普通采用 100~125 毫米宽，压缩空气递纸的真空压辊，湿纸并未附着在毛毯上，大量空气穿过毛毯入真空室，故真空度很低，普通采用 175~200 毫米宽的真空室。

真空压榨上下辊之间也有偏距，但与普通压榨不同，对下面一个真空压辊来说，上面石辊是偏向干燥部一边，因此，湿纸在真空室开始处，是全靠真空作用脱水，以后才是在真空作用和机械压榨作用下脱水。

压榨脱水，线压力是一个重要因素。线压的大小是根据湿纸水分、纸的定量、纸的种类和辊壳强度而有不同。一压因湿纸水分较多，容易压花，线压普通用 $6.86 \sim 14.7 \times 10^3$ 牛顿/米 (7.0~14.0 公斤/厘米)，二压用 $1.47 \sim 2.06 \times 10^4$ 牛顿/米 (14.0~21.0 公斤/厘米)，在使用包胶真空压辊的造纸机中，线压更可加大到 $1.96 \sim 4.9 \times 10^4$ 牛顿/米 (20~50 公斤/厘米)。

真空压辊的真空度，一般中速纸机用 $3.92 \sim 4.9 \times 10^4$ 牛顿/米² (0.4~0.5 公斤/厘米²)。高速纸机更达 $5.86 \sim 6.36 \times 10^4$ 牛顿/米² (0.6~0.65 公斤/厘米²)，与真空伏辊的真空泵生产能力相比，真空压辊的真空泵约小一倍左右，原因是真空压辊上有压紧了的湿纸页和毛毯，空气通过量自然就少得多了。空气透过湿纸的数量多少，直接影响真空度的高低。真空度越高，透过的空气量越多，脱水作用也愈大。

真空压辊中真空室的位置可向湿纸页运行方向偏移。

真空压榨与普通压榨比较，具有许多优点：①可以比普通压榨多脱掉水分，纸的干度可提高 1~2%；②纸页横幅干度均匀一致；③由于真空作用的关系，湿纸紧紧贴在毛毯上，因此压榨时断头可以减少；④因为真空压榨可以多脱掉水，进入真空压榨的湿纸干度稍低一些，也不碍事；⑤真空压榨对毛毯来说，经常有清洁作用，压榨毛毯比较干净，能够保持一定的透水能力，因而可以延长毛毯的使用寿命。

(7) 沟纹压榨：真空压榨虽然有上述许多优点，但也有不少缺点，主要是设备投资费用大，生产费用高，一般只能用到十年左右的时间，所以，现在已有真空压榨的纸机，也有不少改用沟纹压榨辊代替真空压榨辊。

沟纹压辊是在五十年代末期研究和发展出来的一种新型压榨辊。

沟纹压榨也是上辊为石辊，下辊为包胶辊，但不是平辊，而是在胶层上用合金钢刀切削出有宽为 0.5~0.6 毫米、深 1.0~3.5 毫米、每英寸 7~8 扣 (即沟纹距为 3.2~3.6 毫米) 的螺旋形沟纹 (图 2-3-83)。关于沟纹的规格尺寸，另外有人提出：沟纹宽度 0.25~0.76 毫米，深度为宽度的 2~10 倍，沟纹间距为沟宽的 2~20 倍。沟纹的规格尺寸，主要根据湿纸水分、纸机车速、毛毯厚度等情况决定。

压榨时，从湿纸中脱出的水穿过毛毯垂直进入沟纹，缩短了水所通过毛毯的距离 (图 2-3-84) 和水流过毛毯时导致的液压损失，因此可提高出压榨的湿纸干度和减少压花断头。

沟纹尺寸和沟纹辊开口面积百分率与使用的毛毯有关。根据研究证明，沟纹辊的开口率应比较小，开口率太大 (例如 50%)，脱水效果反而不好，原因是沟宽而扣数多的

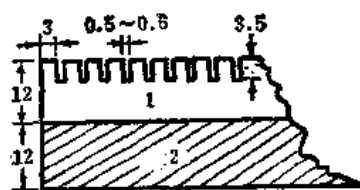


图 2-3-83 沟纹辊剖面图

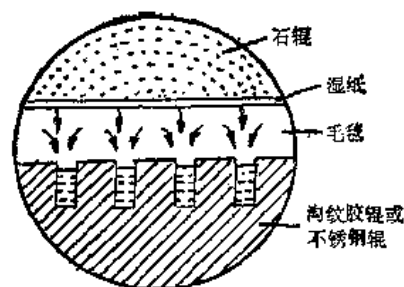


图 2-3-84 沟纹压榨脱水示意图

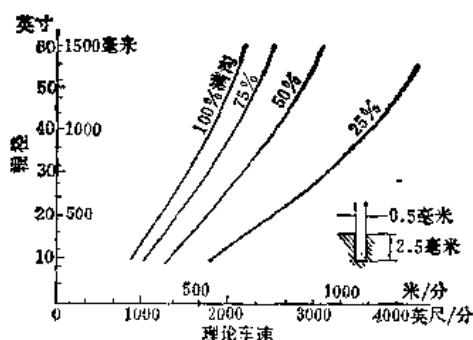


图 2-3-85 车速、辊径、沟内充水百分率的关系

间有如图 2-3-85 的关系。借助于本图，可以根据进出压榨的湿纸干度沟纹压辊辊径等参数找出相应甩水出沟的理论车速。

表 2-3-16 举出新闻纸、纸板和浆板三种产品进出压榨的干度和沟内充水百分率。关
表 2-3-16 在进出压区纸的不同干度下的沟内充水百分率

进压榨纸的干度（%，绝干）	20	30	35
出压榨纸的干度（%，绝干）	30	35	40
纸 种	沟内充水百分率（%）		
新闻纸（52 克/米 ² ）	21.5	6.1	2.4
挂面纸板（204 克/米 ² ）	84.3	24.15	9.5
浆板（730 克/米 ² ）		86.3	34

于矩形沟纹辊沟内充水百分率，可按式计算：

$$\text{沟内充水百分率}(\%) = \frac{w(1-m)(c_2-c_1)p}{10 d b c_1 c_2} \quad (2-3-28)$$

式中 w ——产品定量(克/米²)；
 m ——成纸水分(以小数表示)；
 c_1 ——进压榨纸的绝干干度(以小数表示)；
 c_2 ——出压榨纸的绝干干度(以小数表示)；
 p ——沟纹压辊的沟纹间距(厘米)；
 d ——沟纹深度(厘米)；

b ——沟纹宽度(厘米)。

使用普通编织毛毯,压辊的沟纹宜宽且深,否则纸中容易出现压痕,针刺毛毯较比厚实,不易有压痕出现,所以沟纹宜窄而浅。生产高级纸时,沟纹应高是矩形螺旋。

沟纹压辊的橡胶硬度,应当大于普通压榨胶辊,因为在硬度低的胶辊中,沟纹容易变形,影响脱水效率,湿纸并且容易出现压花。一般沟纹压辊使用 $85\sim 90^\circ$ 肖氏硬度的胶层。但胶辊硬度还是嫌软,日久天长沟纹变形,容易出现“拔毛”,因此,沟纹压榨辊逐渐向金属辊方面发展,最先是在不锈钢钢辊上切削出沟纹;后来改进为在铁辊上按着要求的沟纹距缠绕不锈钢钢带,钢带始末两端焊接固定在铁辊上;最近,欧洲的工厂还有采用异型钢带缠绕,使钢带在辊体上无法活动,因此能够准确地保证沟纹辊的沟纹间距。

与普通压榨比较,沟纹压榨本身容易脱水,压榨时不需要太大的线压,同时胶层厚度增加了,因此可以减少辊子的中高,避免纸的两边较湿,产生筋道。

另外,毛毯、湿纸的走向也很重要。在压榨出口处,湿纸应尽快与毛毯分开,而毛毯也应尽快与沟纹辊分离,以免毛毯回湿。

合理的使用和维护对沟纹辊也很重要。首先,必须经常保持辊沟清洁,防止堵塞,注意沟内积水的排除,为此特别装有高压水管和刮刀等(图 2-3-86)。

冲洗辊沟的水,须有足够的压力,让喷出的水具有足够高的能量来改变沟中的水流

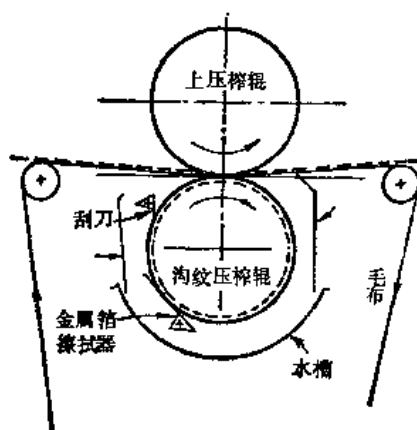


图 2-3-86 清理沟纹

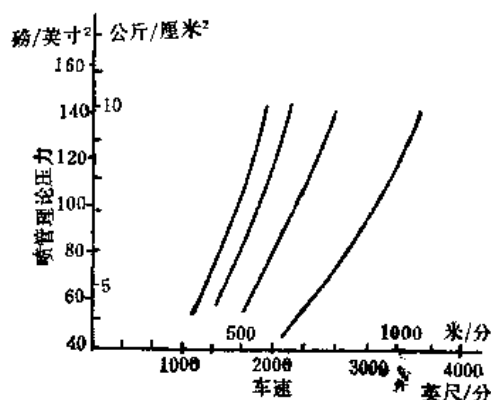


图 2-3-87 喷水水压与车速关系

方向。关于沟纹压辊的喷水管水压和车速,有如图 2-3-87 的关系。普通应用 $68.5\sim 78.0\times 10^4$ 牛顿/米²(7~8 公斤/厘米²) 高压水冲洗沟纹。

沟纹压榨适用的最大车速:浆板为 90 米/分,纸板为 245 米/分,纸达 850 米/分。在纸机车速较高时,沟纹压辊上还要配备软质刮刀,清除掉从辊沟中冲出到辊面的高压水。

目前,国内外长网纸机都已普遍地使用沟纹压榨,并取得良好的脱水效果。在采用沟纹压榨的初期,多只用在二、三压,现在应用真空管克服了进一压的气鼓问题,所以一、二、三压都用沟纹压榨了,据国外某厂报导,该厂一台新闻纸纸机的一、二压都用沟纹压榨代替真空压榨以后,出压榨部纸的干度从 32.6% 提高到 34.7%,同时,还改善了纸张毯面的平整度和节省设备投资与生产费用。

我国汉阳造纸厂在生产凸版纸的纸机上，将二压由普通压榨改为沟纹压榨后，进烘缸部的湿纸水分下降 2.7%，减少了干燥纸的蒸汽消耗，另外还减少了光泽压榨辊的缠纸、卡纸现象，减少断头，提高纸机的车速。

国内各圆网造纸机工厂将圆网纸机中的压榨胶辊加工成沟纹辊后，取得了满意的效果，表现在增加压榨线压而无压花现象，出压榨纸页水分下降，可以提高纸机车速。

日前在生产中，沟纹压榨使用的最大线压，生产纸时达 6.8×10^4 牛顿/米 (90 公斤/厘米)，纸板达 13.7×10^4 牛顿/米 (140 公斤/厘米)，浆板最高达到 17.6×10^4 牛顿/米 (180 公斤/厘米)。沟纹压榨即使采用较大的线压，也不致引起压花和影痕。

(8) 套网压榨：欧洲的纸厂以往采用过衬网压榨 (即塑料网衬垫压榨)，见图 2-3-88。这种压榨是在压榨毛毯内还套有一条网眼比较大的塑料网，因为塑料网是不可压缩的，湿纸压出的水，经过毛毯进到塑料网的眼孔中。据称，衬网压榨后的湿纸干度可提高，车速也可增加。

但衬网压榨的塑料网是装在毛毯之内，装卸比较麻烦，为了避免损坏塑料网，生产操作必须小心谨慎。而套网压榨，则是在下压榨辊的胶辊或真空辊上，紧紧套有一张塑料网套，塑料网套两端再用分块压环或整圈压环予以固定。

套网辊的胶层硬度应比普通胶辊稍高一些，一般采用 $95 \sim 96^\circ$ 肖氏硬度，硬度最小不低于 $88 \sim 90^\circ$ ，否则胶层太软，网套容易变形、扭坏，另外，胶辊两端应作成半径不小于 12.5 毫米的圆弧形，以防网套裂口或擦伤。

套网压辊所用的网套是用厚度为 2.25 毫米、定量约 900 克/米²、空隙容积约 1500 厘米³/米²的双层编织单丝塑料网制成。

套网压榨的脱水原理与沟纹压榨基本相同。因为网套是用单丝双层编法，与毛毯接触的一面有足以容纳压出水的网目空隙，而底层又有可供流水的通道，所以压榨时从湿纸中压出的水是按垂直方式脱水。

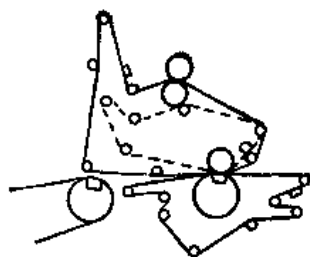


图 2-3-88 衬网压榨

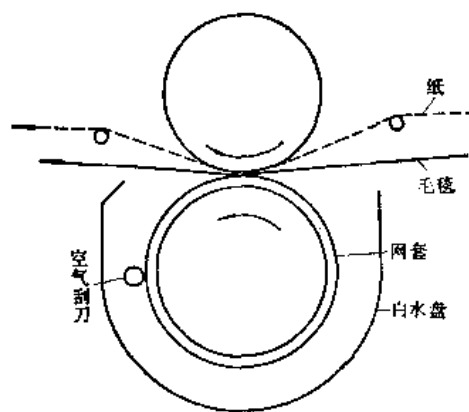


图 2-3-89 套网压榨

为了清除套网压辊上附着的水，一般是用软质刮刀将水抹去 (图 2-3-89)。据称在纸机车速高于 480 米/分时，网套中的水可被离心力甩掉，车速低于 480 米/分，则须配备空气刀或窄缝 (缝宽仅 6~8 毫米) 真空刀吹走或吸去网眼中的水。

空气刀缝口宽仅 1 毫米，风速约 120 米/秒，所需鼓风机容量，按每米辊面需 1.2~1.8 米³/分计算，风压约 $1.01 \sim 1.11 \times 10^4$ 牛顿/米² (1,000~1,100 毫米水柱)。空气刀

安装位置与辊子的中心垂直线成 $15\sim 30^\circ$ 角度, 气刀喷口与网套的角度和距离均可调节(图 2-3-90)。至于真空刀缝口宽仅 $6\sim 8$ 毫米, 真空度为 $0.5\sim 1.0\times 10^4$ 牛顿/米² (500~1,000 毫米水柱), 按 $20\sim 60$ 米/秒缝口风速配给风量。

套网压榨在生产中不如沟纹压榨用得普遍。

2. 三辊压榨

(1) 高强压榨: 高强压榨是上辊(钢辊)和下辊(胶辊)中间配装有一个小径(100~150 毫米)的沟纹辊(见图 2-3-91), 因此, 沟纹辊与铜辊和胶辊之间虽然线压不大, 但却有极高的压区压力。

沟纹辊用不锈钢制成, 辊上车有每英寸 10 扣的 V 形(60°)沟纹, 沟深和沟宽均为 0.76 毫米。

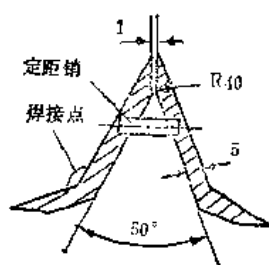


图 2-3-90 空气刀

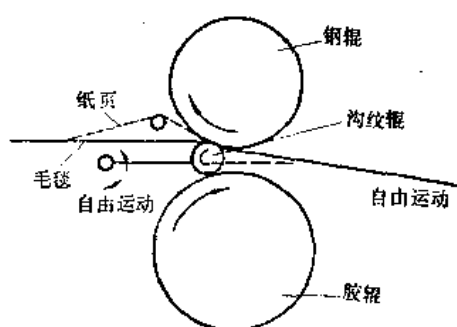


图 2-3-91 高强压榨

(2) 垂直三辊压榨(图 2-3-92); 垂直三辊压榨由分别配备有毛毯的真 空 下 辊和中辊以及花岗石上辊组成。从伏辊揭下来的湿纸页由两毛毯夹着通过下、中两个真空辊的压区。由于中间一个真空辊有两个真空室, 下面一个真空室位置紧接在下面一个真空辊的真空室之后, 可使湿纸随中辊毛毯移动, 避免湿纸跑到下辊毛毯上去。湿纸然后随着中辊毛毯通过中、上两压辊的压区, 最后开放地引入烘缸部。

这种垂直三辊压榨由于结构复杂、换毯困难, 未获推广使用。

3. 复合压榨

复合压榨(又称组合压榨或复式压榨)就是多压区(包括夹区)压榨。六十年代中期以来, 纸机采用复合压榨的日益普遍, 目前复合压榨的类型有数十种之多, 本书不能一一加以讲解, 现只选出两种有代表性的阐述如下。

复合压榨可以按传递纸的方式分为: 有专门引纸毛毯、压榨组中不带真空吸引辊的和真空吸引辊兼作压榨组中第一压辊的两大类。

图 2-3-93 表示有引纸毛毯的斜列式三辊双压区复合压榨。这种复合压榨有三个压辊: 第一个为真空辊; 第二个为石辊; 第三个为沟纹辊, 三个压辊呈倾斜排列。

真空吸引辊将湿纸吸引到引纸毛毯上, 传递到复合压榨的第一压区, 进行真空压榨脱水, 湿纸贴在石辊上又转入第二压区, 进行沟纹压榨脱水, 同时提高纸张网面的平滑度。当湿纸已经经过两个压区压榨脱水, 湿纸强度业已提高以后, 才用开放引纸进入另一道两辊沟纹压榨, 同时提高纸张正面的平滑度。

这种有引纸毛毯的三辊双压区复合压榨运用于车速在 $450\sim 900$ 米/分范围内、生产

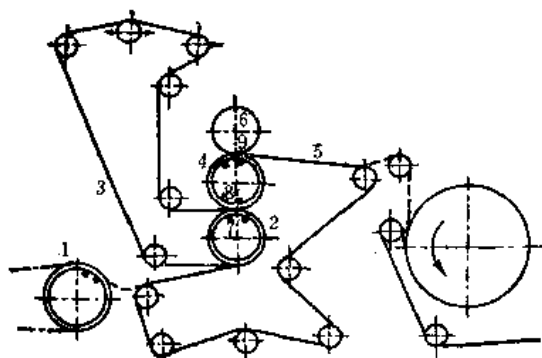


图 2-3-92 垂直三辊压榨

1—真空伏辊 2—真空压榨下辊 3—下辊毛毯
4—真空压榨中辊 5—中辊毛毯 6—石辊 7—下
压辊真空室 8—中辊吸移真空室 9—中辊真空室

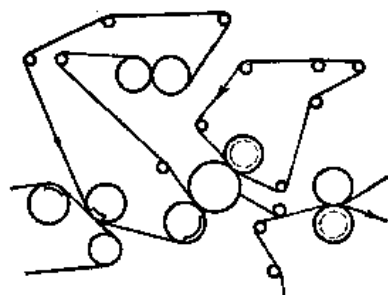


图 2-3-93 三辊双压区复合压榨

新闻纸、涂布原纸和牛皮纸的纸机。湿纸贴在石辊上，经过两次压榨，大大减轻于它的网痕，纸的正面经过最后一道沟纹压榨，平滑度也有所提高。

这种复合压榨的优点是：（1）开放引纸之前，湿纸先经过两个压区脱水，纸的干度提高了，湿纸强度增加了，断头也就减少了；（2）损纸容易处理；（3）减轻了纸的网痕，提高了网面的平滑度；（4）引纸到最后一道压榨，距离短而且稳定；（5）大大缩短了压榨部的长度。

图 2-3-94 代表真空吸引辊兼作第一压辊的斜列式三辊双压区复合压榨。和前一种三辊复合压榨比较，它的特点是真空吸引辊内有两个真空室，分别担负真空揭纸和真空压榨的职能。湿纸从伏辊网上剥离下来以后，不需要像前一种那样有较长一段湿纸传递距离，而是贴在毛毯上立即转入第一压区，所以真空吸引辊还兼有真空压辊的功用。

这种复合压榨适用于生产定量较大纸张的高速纸机和定量小纸张的超高速纸机，它既具有前一种复合压榨的优点，还有剥离不同大小定量纸张的能力，不受生产纸张定量的限制。

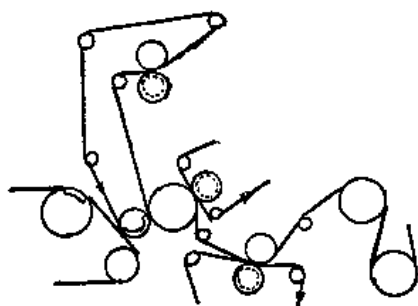


图 2-3-94 真空吸引辊兼作第一压辊的
斜列式三辊双压区复合压榨

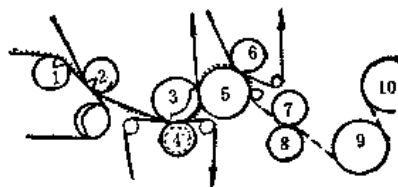


图 2-3-95 四辊三压区复合压榨
1—真空伏辊 2—真空吸引辊 3—真空压辊 4、
6—沟纹辊 5—平压辊 7、8—光泽压榨 9、10—烘缸

图 2-3-95 表示另一种与图 2-3-94 相似的四辊三压区复合压榨，湿纸经过三个压区提高到比三辊双压区复合压榨更高的干度以后，才开放引纸进入光泽压榨，断头的机会自然就更少了，我国东北某厂应用的复合压榨，基本上就是这种型式的压榨。

总的说来,采用复合压榨能够取得以下的一些效果:

(1) 能提高压榨部的脱水效率和进烘缸部纸的干度。

(2) 压榨部的损纸易于处理。基本上根除了旧式纸机提高车速时,反压引纸的困难。

(3) 基于湿纸在压榨时是对称地或接近于对称地脱水减小了纸的两面差,提高了纸的质量。

(4) 缩短了纸机压榨部的长度,节省造纸车间的长度和建筑面积。为了提高现有纸机的车速和利用现有车间厂房面积,还可以把改装复合压榨后压榨部缩短出来的长度,用来添加烘缸或(和)加长网部。

(5) 做到不计纸种、不论定量,都能在高速下成功地把湿纸页从网部引到压榨部。

(6) 减少纸的断头,能够增加纸机车速。复合压榨可以做到全封闭引纸,至少能把开放引纸推迟到复合压榨之后,因此到开放引纸时,湿纸水分已经少了,强度业已提高了,自然可以减少纸机湿部断头的次数。另外,压榨部改造成复合压榨,本身就为提高现有纸机车速创造了条件。

特别是最后一点,采用复合压榨更可解决草浆抄纸时由于纤维短、非纤维性细胞多、抄纸容易出现粘辊、断头的问题,如能与网部和干燥部的改造相配合,还可以做到草浆抄纸进一步提高车速的目的。

(四) 压榨脱水理论

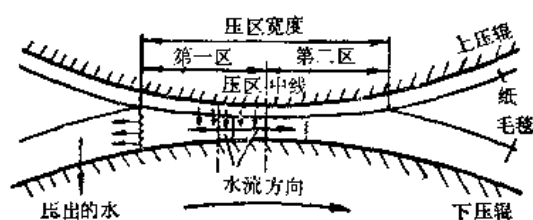


图 2-3-96 压区宽度

一对压辊在自重和外力下所形成的接触区域,称为压区。在上下两个压辊中间有湿纸和毛毯通过时,从湿纸和毛毯在进入压缝一边开始接触的地方算起,到出压缝一边两者分开时为止,中间这段水平距离为压区宽度(图 2-3-96)。以上下压辊中心线为分界线将压区分成两个部分:进压缝的一边称为第一

区,出压缝的一边称为第二区。

在第一区中,湿纸和毛毯进入压缝,本身受到压缩而达到饱和。由于湿纸对压力的阻力比较小,首先就达到了饱和状态,因此也就具有比较大的水压。同时也在第一区中,湿纸的水压大于毛毯的水压。在湿纸和毛毯受到压缩的时候,湿纸中压出的水便流入毛毯,而湿纸本身的水分降低了。

毛毯的水压愈小,从湿纸脱掉的水愈多。当毛毯中水压为零,湿纸脱掉的水最多。为了使毛毯中水压较小,从湿纸中压到毛毯的水必须用毛毯挤水辊或真空箱尽量去掉。

等到湿纸和毛毯通过压区中心线转到第二区,湿纸页和毛毯都发生膨胀,产生纤维间的水-空气界面,由于湿纸中的毛细管小于毛毯中的毛细管,毛细管作用会将毛毯中的水又吸到湿纸中去,压辊辊壳上的水吸回毛毯,出现纸的“回湿”现象。

1. 平压辊脱水机理——反向脱水

在普通平辊压榨中,湿纸所有被挤出来的水,只能反着毛毯运行方向透过毛毯流去(见图 2-3-97),水流速度既高,流过毛毯距离也长,与之相应地有较高的水压和较大的

压力梯度。如果这时湿纸强度不够大的话,就会出现压花(又称压溃)现象。

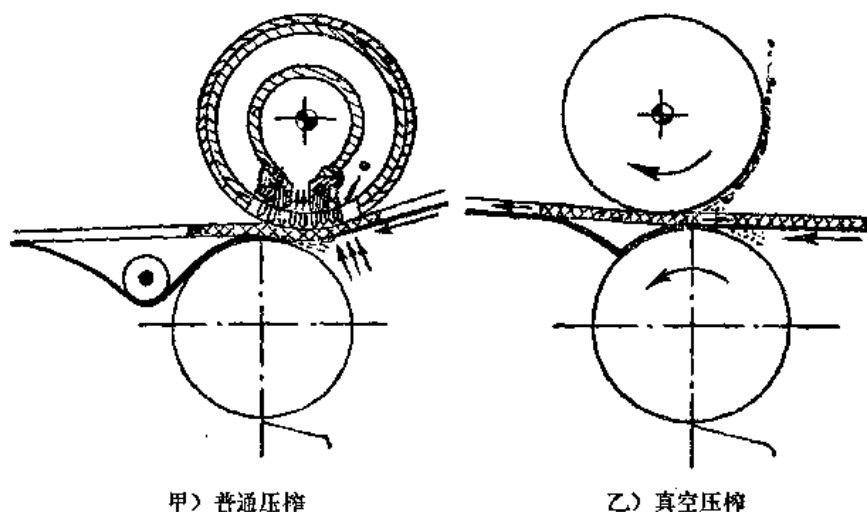


图 2-3-97 普通压榨排水图

压榨所加的压力愈大,压出的水越多。与刚刚出现压花时相对应的压力,称为压花压力或压溃压力。每道压榨的脱水极限受着压花压力的限制。

2. 真空压辊脱水机理——垂直脱水

在真空压榨中,第一区中湿纸压出的水进入毛毯,垂流进真空压辊的眼孔中(图 2-3-98),因为流速小,流动距离短,阻力不大,所以纸机的压榨部可以提高压榨线压,从而提高车速。

转入第二区后,湿纸和毛毯开始膨胀,基于毛细管作用,它们都要吸水,湿纸从毛毯中吸水,引起纸的回湿,而毛毯又从真空压辊眼孔中吸回水分。

要想出压区的湿纸含水量低,可以提高压榨线压、减小压区宽度(使用硬度高的胶层和可压缩性的毛毯)、采用流动阻力小的开敞毛毯、提高湿纸温度或降低车速。

朱斯士(E. J. Justus)根据流体压力梯度概念来分析研究压榨脱水机理。

压榨中,压区的压力基本上是由机械压力和流体压力两个部分组成(图 2-3-100)。

在普通压榨情形下,由于下压辊是平辊,毛毯和下压辊的界面没有水通过,因此,除了机械压力以外,还有流体压力(参阅图 2-3-100 中曲线 B),压榨时水从湿纸向毛毯流动,但是因为从毛毯向下压辊的垂直方向没有水的流动,所以水透过毛毯厚度上的流体减小,或者说,流体压力曲线的斜率在通过整个毛毯厚度过程中不断下降。水通过纸和毛毯的压力梯度小,通过毛毯的水量必然降低。

普通压榨中压区的压力梯度小,主要的压力梯度是存在于和压区相垂直的方向(即沿 X-X 方向),也就是说从湿纸中压出的水是沿着水平方向流动,必然透过第一压很

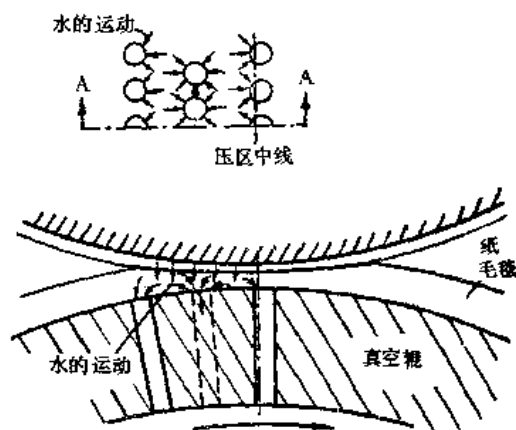


图 2-3-98 真空压榨排水运动图

长一段毛毯距离（长度），才能沿下压辊辊面排除。经过毛毯的路途愈长，压力梯度越小，流体流动速度自然越低，排除水量也就越少。

在沟纹压榨情况下，毛毯经辊沟与大气相通，使界面上的流体压力降至大气压力，所以压区中辊沟部分、流体压力接近于零。在辊沟部分，毛毯与沟纹辊的界面上水能流通，流体压力曲线在整个毛毯厚度保持一定的斜率，这就大大有利于湿纸中的水经过毛毯由辊沟排除。

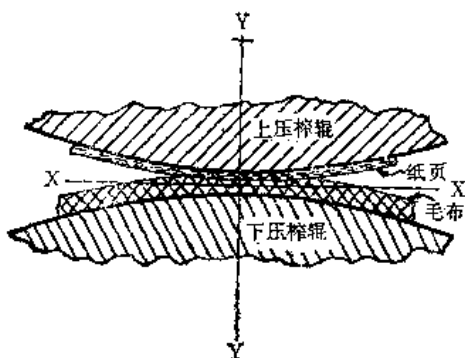


图 2-3-99 压区横断面

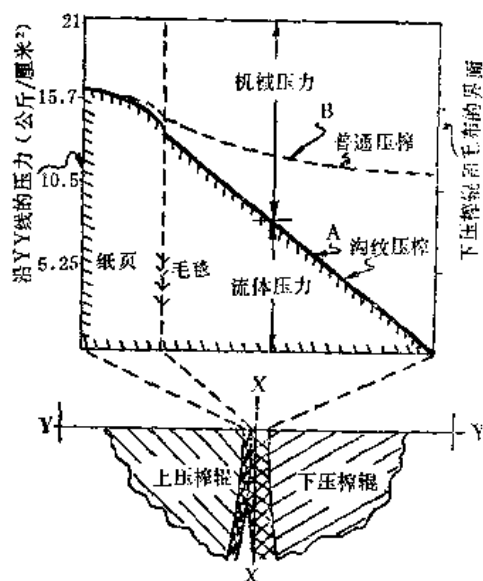


图 2-3-100 压区压力分布图

沟纹压榨压区垂直方向有一定压力梯度，从湿纸中压出的水，通过毛毯到辊沟排去的途径比较短，压力梯度也就比普通压榨要大得多，流体流速大些，压榨排除自然也就多些。

至于真空压榨，在眼孔附近部分，脱水机理近似于沟纹压榨，而在眼孔之间的部分的脱水机理，接近于普通压榨。

(五) 压榨辊的加压

目前使用的加压装置，大体上有杠杆重锤、气动、液压三种类型。

图 2-3-101 代表在结构上与升降装置联合在一起的杠杆式加压装置。加压和升降装置是由三根杠杆组成。杠杆 2 装在杠杆 1 内侧。在 1 杆的一端有安放重锤的装置，重锤的个数可根据操作需要增减。在纸机的操作面和传动面均设有相同的装置。升降手轮装在操作面，手轮安装在一根横贯上压辊全宽的横轴上，此横轴的两端各有一个与螺杆相连的锥形齿轮，其中一个齿轮用离合器与横轴连接。旋转手轮就会带动横轴上的螺母，而使锥形齿轮转动；这时装在齿轮上的垂直螺杆也随之旋转，使上压辊上升或下降。螺杆是以固定螺帽安装在杠杆 3 上，并以后动接头与杠杆 2 相连。

下压辊承受的总力为：

$$P_T = P + P_{rp} + P_1 + P_2 - P_3 \quad (2-3-29)$$

式中 P_T ——下压辊承受的总力(公斤)；

P ——上压辊本身重量(公斤)；

P_{rp} ——重锤通过杠杆系所产生的力(公斤)；

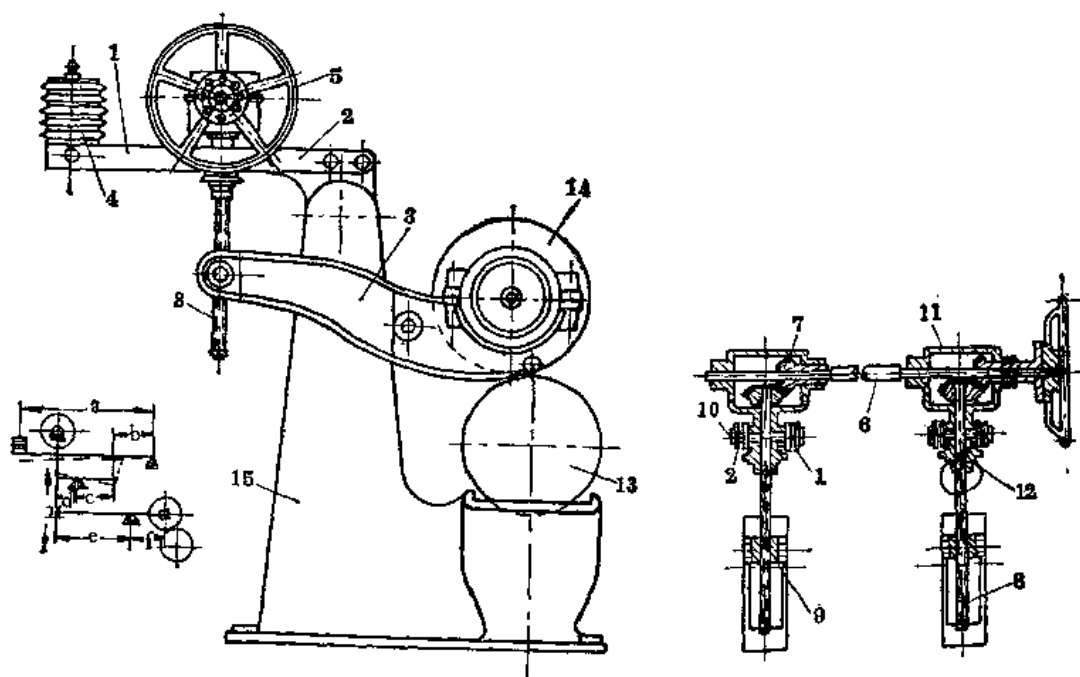


图 2-3-101 上压辊杠杆加压装置

1—加压装置第一杠杆 2—加压装置第二杠杆 3—上辊第三杠杆 4—重锤 5—上辊升降手轮 6—横轴 7—锥形齿轮 8—垂直螺杆 9—螺母 10—第二杠杆与螺母的铰接固定 11—加压装置的外壳 12—止推轴承 13—下压辊 14—上压辊 15—压榨装置支座

P_1 ——杠杆 1 重量产生的力(公斤);

P_2 ——杠杆 2 重量产生的力(公斤);

P_3 ——杠杆 3 重量产生的力(公斤)。

而重锤通过杠杆系所产生的附加力又为:

$$P_{rp} = G_{rp} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{e}{f} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (2-3-30)$$

式中 G_{rp} ——两边（操作面和传动面）重锤的重量（公斤）；

 a, b, c, d, e, f ——杠杆臂长(厘米); η_1, η_2, η_3 ——1, 2, 3 杠杆支点的有效作用系数。

通常可取 $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta_0$ 。当润滑良好时, $\eta_0 = 0.95 \sim 0.97$; 当润滑不良时, $\eta_0 = 0.8$ 以下, 亦即杠杆系统的有效作用总系数 $\eta_0^3 = 0.4 \sim 0.5$ 。

力 P_1 等于 1 杆重量乘杠杆重心到支点的距离，除以 b 臂，再乘上杠杆 2、3 的传递比，当杠杆是在它长度的中央时：

$$P_1 = G_1 \times \frac{a}{2b} \times \frac{c}{d} \times \frac{e}{f} \times \eta_0^3. \quad (2-3-31)$$

式中 —— P 杠杆 1 的重量(操作面与传动面)。

对于杠杆 2, 重心到支点的距离等于:

$$x = c - \frac{c+d}{2} = \frac{c-d}{2}$$

所以

$$P_2 = G_2 \times \frac{c-d}{2} \times \frac{e}{f} \times \eta_0^2 \quad (2-3-32)$$

式中 G_2 ——杠杆的重量(公斤)。

同样, 对于杠杆 3, 当重量为 G_3 时, 则:

$$P_3 = G_3 \times \frac{e-f}{2f} \times \eta_0 \quad (2-3-33)$$

因为 $e > f$, 所以杠杆 3 的重量是使附加力减少。至于具体如何抬高上辊, 这里不作叙述。

图 2-3-102 为气动加压装置。上压辊的加压与升降都是利用活塞拉杆和上压辊的杠杆相联接来进行。

操作时, 从空气压缩机来的 5~6 个气压 ($4.9 \sim 5.9 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) 的空气, 由气压调整器调压后, 进入活塞缸, 缸内活塞可采用胶垫或聚氯乙烯垫密封。在压榨辊的操作面和传动面各有一个气缸, 用管道与气压调整器相连。

目前常用的另一类气动式为气垫加压装置, 见图 2-3-103。加压装置中有两个气压室, 一个用以抬起上压辊, 另一个则作为放下上压辊和加压之用, 气压室内装有橡皮隔膜, 隔膜上并装有顶盘, 两个顶盘之间用连杆连接, 而连杆与上压辊升降杠杆铰接。隔膜传递给连杆的力:

$$P = \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) p \quad (\text{公斤}) \quad (2-3-34)$$

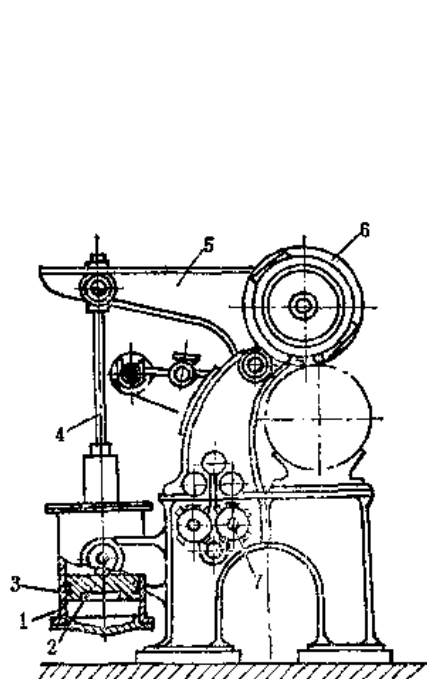


图 2-3-102 气动加压装置

1—气缸 2—活塞 3—密封圈 4—拉杆
5—杠杆 6—上压辊 7—气压调节器

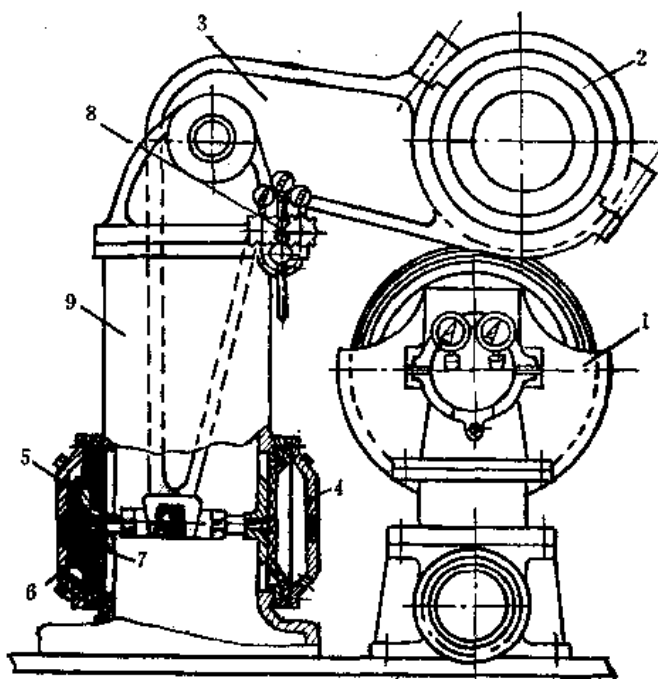


图 2-3-103 气垫加压装置

1—下压辊 2—上压辊 3—杠杆 4—放下上压辊
和加压的气压室 5—抬起上压辊的气压室 6—隔
膜 7—顶盘 8—气动压力调节器 9—机架

式中 D ——隔膜工作直径(厘米);

d ——顶盘直径(厘米);

p ——表压(公斤/厘米²)。

气垫式不会有活塞式加压装置,因为密封泄漏和活塞卡住引起的辊间压力波动。

液压式加压装置基本上与气动式的结构相同,唯一区别是取消了杠杆装置,其液压圆筒的活塞杆直接与上压辊的轴承连接。

采用气动或液压加压装置,其附加力 P' 等于,

$$P' = 2 p \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{a}{b} \times \eta_0 \quad (2-3-35)$$

式中 p ——表压(公斤/厘米²);

d ——气压或液压缸的内径(厘米);

a, b ——杠杆臂长(厘米);

η_0 ——有效利用系数(0.9~0.95)。

(六) 压榨辊的中高及其配合

由于本身重量关系,任何两个支点支撑的横梁都会发出一定的弯曲,如在横梁上再加外力,弯曲程度更为加大,横梁挠度的大小与本身材料、重量、尺寸、支点间距离和加压情况等有直接关系。压榨部的每道压榨的上、下压辊,实质上就是一个由两个交点支撑着的横梁,因此也有挠度,具体表现为辊子向下弯曲。如上、下压辊都是圆柱体,装在纸机压榨部以后,将会出现两个辊子不能完全密接,两者中间有缝隙的情况,而且,下压辊辊面宽度上所受的壓力也是不一致的。

为了弥补这个缺陷,必须把下压辊或上、下压辊作成有中高的辊子,也就是说把辊子做成中间直径大,两边直径逐渐减小[图 2-3-104(1)]。辊子中间直径 D 和两端直径 D_0 之差,称为辊子的中高,即:

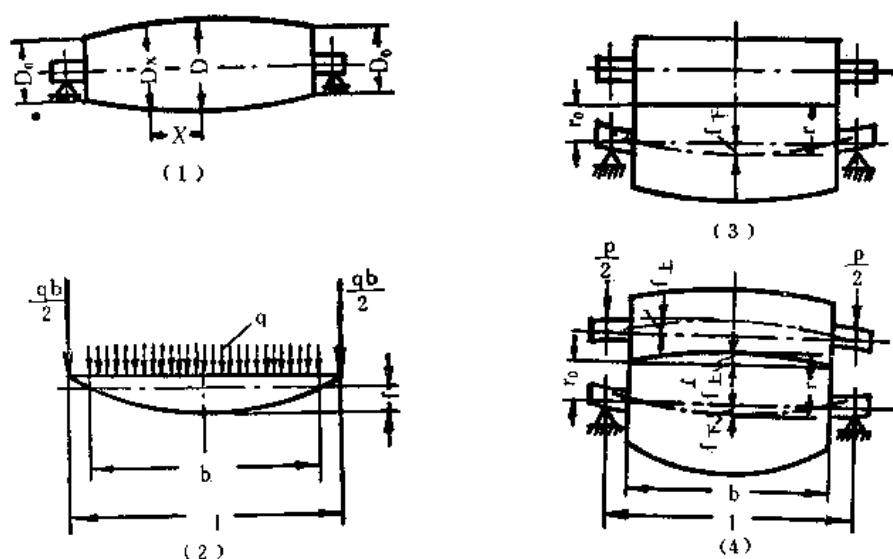


图 2-3-104 中高计算图

(1) 中高 (2) 辊子工作部分的挠度 (3) 上辊不加压的辊子挠度 (4) 上辊加压的辊子挠度

$$k = D - D_0 \quad (2-3-36)$$

如上所述,有中高的辊子中间直径最大;两边逐渐减小,因此距中部 X 的某一截面的中高应为:

$$k_x = D - D_x \quad (2-3-37)$$

1. 压辊的挠度

压辊的中高是由辊子的挠度决定的。在材料力学中早已讲过,两个支点的横梁上有均布载荷时,其挠度为:

$$f = \frac{5 q b^4}{384 E I}$$

针对压辊的具体情况,载荷只是均布在辊子工作面宽度上,其挠度应为:

$$f = \frac{q b^3}{384 E I} (12 l - 7 b) \quad (2-3-38)$$

式中 q ——辊子承受的均布载荷,即线压力(公斤/厘米),而

$$q = \frac{G_{\text{上}} + P}{b};$$

$G_{\text{上}}$ ——上压辊辊重(公斤);

P ——压榨加压的附加力(公斤);

l ——两支点间的距离(厘米),在梁中 $l = b$;

b ——下压辊工作面宽度(厘米);

E ——辊子的弹性系数(公斤/厘米²);

I ——辊子横断面的转动惯量(厘米⁴)。

2. 压辊的中高

(1) 当上下压辊间无偏距时,上压辊的垂直挠度:

$$f_{\text{上}}^{\text{垂直}} = \frac{P b^2 (12 l - 7 b)}{384 E_{\text{上}} I_{\text{上}}} \quad (2-3-39)$$

下压辊的垂直挠度:

$$f_{\text{下}}^{\text{垂直}} = \frac{(G_{\text{上}} + G_{\text{下}} + P) b^2 (12 l - 7 b)}{384 E_{\text{下}} I_{\text{下}}} \quad (2-3-40)$$

上两式中 $G_{\text{下}}$ ——下压辊辊重(公斤);

$E_{\text{上}}, E_{\text{下}}$ ——分别代表上、下压辊的弹性系数(公斤/厘米²);

$I_{\text{上}}, I_{\text{下}}$ ——分别代表上、下压辊横断面的转动惯量(厘米⁴)。

$$\gamma = \gamma_0 + f_{\text{上}}^{\text{垂直}} + f_{\text{下}}^{\text{垂直}}$$

$$D = D_0 + 2 (f_{\text{上}}^{\text{垂直}} + f_{\text{下}}^{\text{垂直}})$$

$$\text{故中高 } k = D - D_0 = 2 (f_{\text{上}}^{\text{垂直}} + f_{\text{下}}^{\text{垂直}}) = 2 f_{\text{垂直}}^{\text{总}} \quad (2-3-41)$$

即等于上、下压辊垂直挠度之和的二倍。

(2) 当上下压辊间有偏距,而上压辊杠杆为水平时〔参阅图 2-3-105(1)〕,沿上下压辊中心联线的作用力:

$$Q_{\text{中联}} = \frac{G_{\text{上}} + P}{\cos \gamma} \quad (2-3-42)$$

沿上压辊杠杆的作用力：

$$Q_{\text{水平}} = Q_{\text{中联}} \sin \gamma = (G_{\text{上}} + P) \sin \gamma \quad (2-3-43)$$

而

$$\sin \gamma = \frac{m}{\frac{D_{\text{上}} + D_{\text{下}}}{2}} = \frac{2m}{D_{\text{上}} + D_{\text{下}}} \quad (2-3-44)$$

上列式中 γ ——上压辊中垂线与上、下两辊中心联线之间的夹角；

m ——上、下两辊间的水平偏距(厘米)；

$D_{\text{上}}、D_{\text{下}}$ ——分别代表上、下压辊的直径(厘米)。

当上、下压辊有偏距，而上压辊杠杆不是水平时 [图 2-3-105 (2)]，从 $\triangle AOB$ 可知：

$$\begin{aligned} & \frac{G_{\text{上}} + P}{\sin [180^\circ - (\gamma - \beta)]} \\ &= \frac{Q_{\text{中联}}}{\sin \beta} = \frac{Q_{\text{水平}}}{\sin \gamma} \quad (2-3-45) \end{aligned}$$

$$\text{故 } Q_{\text{中联}} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \sin \beta}{\sin (\gamma - \beta)} \quad (2-3-46)$$

$$Q_{\text{水平}} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \sin \gamma}{\sin (\gamma - \beta)} \quad (2-3-47)$$

式中 β ——上压辊中垂线与上压辊中心和杠杆支点联线之间的夹角。

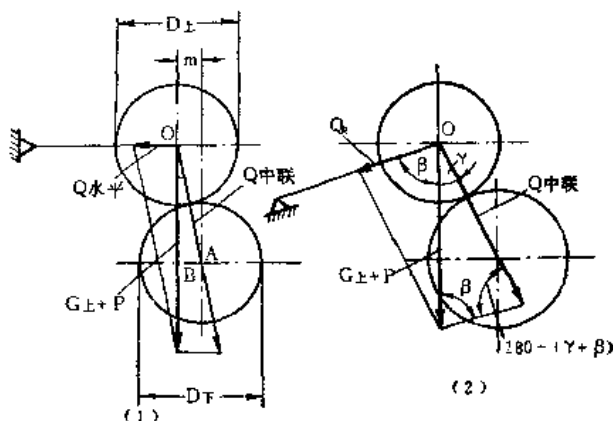


图 2-3-105 上下辊有偏距时的作用力图
(1) 上压辊杠杆为水平时 (2) 上压辊杠杆非水平时

通过上、下压辊接点、对压榨线压起决定作用的 $Q_{\text{中联}}$ 与上压辊辊重 $G_{\text{上}}$ 和附加力 P 之和的关系，有三种可能性存在：

(1) 当 $\beta > 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ 时， $Q_{\text{中联}} > G_{\text{上}} + P$ ；

(2) 当 $\beta = 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ 时， $Q_{\text{中联}} = G_{\text{上}} + P$ ；

(3) 当 $\beta < 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ 时， $Q_{\text{中联}} < G_{\text{上}} + P$ 。

纸机压榨部最常遇到的情况是 $\beta > 90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ ，可能的数值为：

$$(1) \beta = 90^\circ, \text{ 于是 } Q_{\text{中联}} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \sin 90^\circ}{\sin (\gamma + 90^\circ)} = \frac{G_{\text{上}} + P}{\cos \gamma} \quad (2-3-48)$$

$$\begin{aligned} (2) \beta = \gamma, \text{ 于是 } Q_{\text{中联}} &= \frac{(G_{\text{上}} + P) \sin \beta}{\sin 2\beta} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \sin \beta}{2 \sin \beta \cos \beta} \\ &= \frac{(G_{\text{上}} + P)}{2 \cos \beta} = \frac{(G_{\text{上}} + P)}{2 \cos \gamma} \quad (2-3-49) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \beta + \gamma = 90^\circ, \text{ 于是 } Q_{\text{中联}} &= (G_{\text{上}} + P) \sin \beta \\ &= (G_{\text{上}} + P) \cos \gamma \quad (2-3-50) \end{aligned}$$

更深入一步研究，实际上 $Q_{\text{中联}}$ 是 $\beta、\gamma$ 两个变量的函数，即 $Q_{\text{中联}} = f(\beta, \gamma)$ 。当 $\beta + \gamma >$

90°时, $Q_{\text{中联}}$ 随 γ 的增加而加大; 当 $\beta + \gamma < 90^\circ$ 时, $Q_{\text{中联}}$ 随 γ 的增加反而减小。所以增减压辊间的偏距是否能提高压榨线压, 主要取决于纸机压榨机构的具体尺寸, 对具体情况应当作具体的分析, 决不能一概而论, 笼统地认为增加偏距就能减小压榨的线压。

基于有水平作用力的关系, 压辊同时有水平挠度和垂直挠度, 故 $f_{\text{垂直}} = f_{\text{上垂直}} + f_{\text{下垂直}}$ 和 $f_{\text{水平}} = f_{\text{上水平}} + f_{\text{下水平}}$ 。

$$\text{上压辊垂直挠度 } f_{\text{上垂直}} = \frac{Pb^2(12l-7b)}{384 E_{\text{上}} I_{\text{上}}}$$

$$\text{上压辊水平挠度 } f_{\text{上水平}} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \text{tg} \gamma b^2 (12l-7b)}{384 E_{\text{上}} I_{\text{上}}}$$

$$\text{下压辊垂直挠度 } f_{\text{下垂直}} = \frac{(G_{\text{上}} + G_{\text{下}} + P) b^2 (12l-7b)}{384 E_{\text{下}} I_{\text{下}}}$$

$$\text{下压辊水平挠度 } f_{\text{下水平}} = \frac{(G_{\text{上}} + P) \text{tg} \gamma b^2 (12l-7b)}{384 E_{\text{下}} I_{\text{下}}}$$

同时, $R^2 = R_0^2 + 2hf_{\text{垂直}} + 2mf_{\text{水平}}$

$$R - R_0 = \frac{hf_{\text{垂直}} + mf_{\text{水平}}}{R_0}$$

从 $\triangle AOB$ 可知:

$$\cos \gamma = \frac{h}{R_0}, \quad \sin \gamma = \frac{m}{R_0}$$

$$R - R_0 = f_{\text{垂直}} \cos \gamma + f_{\text{水平}} \sin \gamma$$

故中高

$$\begin{aligned} k &= D - D_0 \\ &= 2(f_{\text{垂直}} \cos \gamma + f_{\text{水平}} \sin \gamma) \end{aligned} \quad (2-3-51)$$

3. 中高的配合

如果只有下压辊有中高, 而上压辊是没有中高的辊子, 因为下压辊的各断面圆周速度不同, 引起两个辊子之间产生滑动, 如图 2-3-107 所示。在 A 和 B 断面之间, 从动的上压辊圆周速度小于主动下压辊的圆周速度, 在这种情况下, 将发生“正滑动”; 而在两辊的端部和 A 或 B 断面之间的部分, 从动上压辊的圆周速度又大于主动下压辊的速度, 发生“负滑动”现象。

如果采用上下压辊都有中高的办法, 并且保证上下压辊在中部切面上及在端面上的

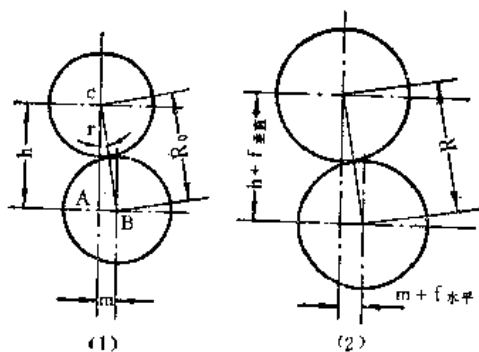


图 2-3-106 有偏距时辊子的高

(1) 不考虑挠度时的压辊切面 (2) 有中高时的压辊切面

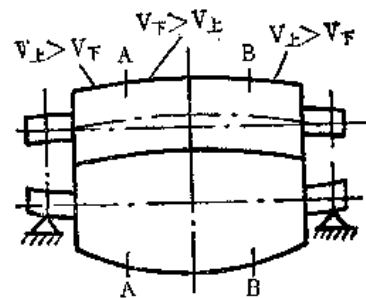


图 2-3-107 压辊间的滑动

直径成下列比例关系，按其直径把中高分配给上、下压辊时就无滑动。

$$D_{\text{下}}/D_{\text{上}} = D'_{\text{下}}/D'_{\text{上}}$$

式中 $D_{\text{上}}$ 、 $D_{\text{下}}$ ——上、下压辊中部切面的直径；

$D'_{\text{上}}$ 、 $D'_{\text{下}}$ ——上、下压辊端面的直径。

按比例定理可得：

$$D_{\text{下}}/D_{\text{上}} = \frac{D_{\text{下}} - D'_{\text{下}}}{D_{\text{上}} - D'_{\text{上}}} = k_{\text{下}}/k_{\text{上}} \quad (2-3-52)$$

式中 $k_{\text{下}}$ 、 $k_{\text{上}}$ ——分别代表下压辊和上压辊的中高， $k_{\text{下}} = D_{\text{下}} - D'_{\text{下}}$ ， $k_{\text{上}} = D_{\text{上}} - D'_{\text{上}}$ 。

因为两个压辊的总中高等于各分中高之和，则：

$$k = k_{\text{下}} + k_{\text{上}} \quad (2-3-53)$$

解联立方程式(2-3-52)及(2-3-53)，得：

$$k_{\text{下}} = k \frac{D_{\text{下}}}{D_{\text{下}} + D_{\text{上}}} \quad (2-3-54)$$

$$k_{\text{上}} = k \frac{D_{\text{上}}}{D_{\text{下}} + D_{\text{上}}} \quad (2-3-55)$$

把中高分配给上、下两个压辊和只有下压辊有中高一样，有中高辊子不同切面上的圆周速度不同，但在两压辊都有中高时，这些速度之差大约只有下压辊有中高时的一半，从而减小纸的变形和延长压辊胶层的使用寿命。为了便于加工起见，一般低速窄纸机只有下压辊有中高。

在纸机操作时，往往需要根据生产上的要求变动压辊间的压力，两辊间的线压一旦变动，则压辊的中高也应随之而有相应的变动，否则难以保证脱水均匀。可是这是普通结构的压辊所办不到的。另外，普通结构的压辊要求有较大的中高，其结果造成压辊中部切面圆周速度最大，两端速度最小，因而影响到压榨毛毯横幅各点速度的不一致。

为了克服上述这些缺点，有用“中固辊”(图 2-3-108)代替普通结构压辊的。中固辊也是由中空铸铁圆筒制成，圆筒内装一根钢质通轴，铸铁圆筒和通轴只在中部约 300~600 毫米处固定（而普通结构的压辊系在两端紧密固定），圆筒两端用弹性大的胶垫与通轴接触。

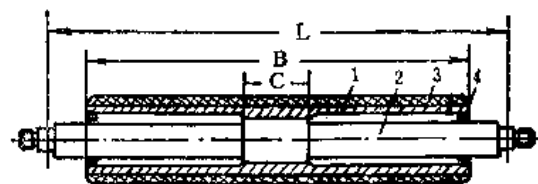


图 2-3-108 中固辊

1—辊壳 2—辊轴 3—复盖层 4—辊端盖板
L—辊子轴承间宽度 B—辊面宽度 C—中固段宽度

中固辊也会产生挠度，作为压辊时也需要有中高，只不过因为挠度较小，中高也较小罢了，因此，并不能完全解决普通结构压辊的缺陷。而且，中固辊的挠度曲线呈M字形，中高不易磨制。

随着纸机宽度的不断增加辊径的加大、压榨线压的提高，辊子的挠度愈大，如果只靠磨制中高的办法来解决，一方面压辊的中高势必很大，引起很大的正滑度和负滑动，影响胶辊和毛毯的使用寿命，同时采用中高的办法本身，中高和它的配合只是暂时的、相对的。严格地讲，一个固定中高的压辊，只有在刚刚磨出来装上纸机的时候，在特定操作条件之下，上下压辊之间才是真正配合的(中高准确的话)。可是随着压辊的磨损，磨好中高的压辊又会从配合变成不配合了。当然，中高辊更不能适应变化生产工艺条件

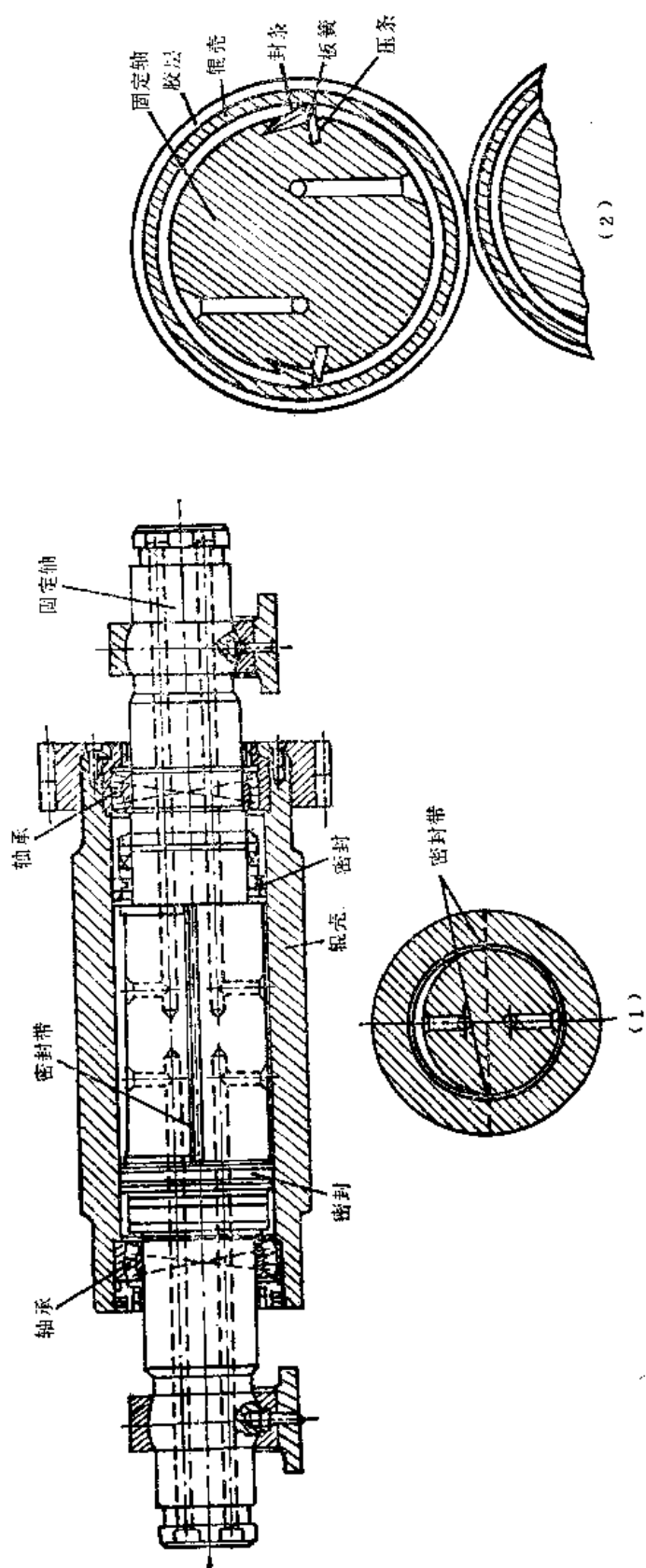


图 2-3-109 浮游提的纵横剖面图

的要求。

七十年代，国外研制出了可控中高辊，辊子的挠度可以根据生产操作上的需要，随时加以控制。目前世界上出现有许多种可控中高辊，下面仅就我国北方地区纸厂中已有的一种可控中高辊——浮游辊加以讲述。

图 2-3-109(1)和图 2-3-109(2) 分别表示浮游辊的纵向和横向剖面图。浮游辊有一个由钢材或冷硬铸铁做成的，没有中高的圆筒形辊壳，能围绕着开有进油和回油接头口的固定辊轴转动，圆筒辊壳是靠自位轴承随着固定辊轴迴转。在辊壳和辊轴之间的环隙空间，用径向和轴向密分为上下两部分和加压室与回油室。高压油从进油管入加压室，与辊子承受的载荷相抗衡。从密封漏出的油流到下部回油室，通过回油管回到泵油站。

图 2-3-110 表示浮游辊内油压抗衡于上压辊施加载荷的作用示意图。

在可控中高辊辊面上如能缠绕钢带做成可控中高沟纹压榨，压榨脱水效果更为显著。

(七) 影响压榨脱水的因素

在压榨过程中，由于上压辊辊重和加压附加力所形成的压力，使上、下压辊间的湿纸和毛毯脱水，湿纸挤出的水一方面被毛毯吸收，另方面对着毛毯进行的方向水平透过毛毯，最后在自重作用下沿下压辊进压榨一侧流下排出。由此可见，压榨脱水效率是由压榨比压、纸页脱水阻力、压榨时间、毛毯的吸水性和滤水性能等因素所决定。

1. 压榨比压和线压

压榨脱水效率与压榨比压成正比，随线压指数而增加。上下压辊在压榨时，如图 2-3-111 所示，其接触部分必然变形，变形部分的宽度可按下式计算：

$$C = 1.6 \sqrt{\frac{q D_{\pm} D_{\mp}}{D_{\pm} + D_{\mp}} \left(\frac{1 - \mu_{\pm}^2}{E_{\pm}} + \frac{1 - \mu_{\mp}^2}{E_{\mp}} \right)} \quad (\text{厘米}) \quad (2-3-56)$$

式中 q ——压榨线压 (公斤/厘米)；

D_{\pm}, D_{\mp} ——分别代表上、下压辊直径 (厘米)；

E_{\pm}, E_{\mp} ——上、下压辊的弹性系数 (公斤/厘米²)；

μ_{\pm}, μ_{\mp} ——上、下压辊的泊桑系数。

故平均比压

$$p_{\text{平均}} = \frac{q}{C} = 0.65 \sqrt{\frac{q(D_{\pm} + D_{\mp})}{D_{\pm} D_{\mp} \left(\frac{1 - \mu_{\pm}^2}{E_{\pm}} + \frac{1 - \mu_{\mp}^2}{E_{\mp}} \right)}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (2-3-57)$$

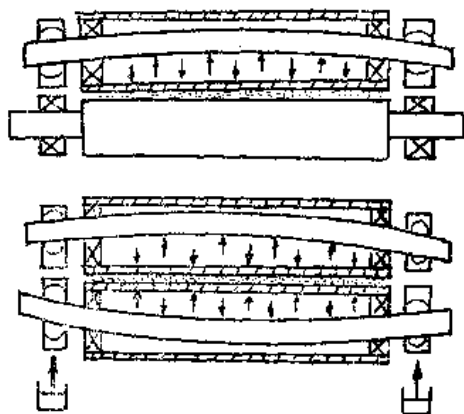


图 2-3-110 浮游辊的作用图

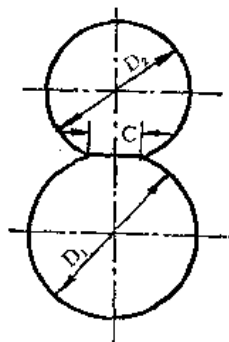


图 2-3-111 压辊的变形

在变形面积宽度中央部分的最大比压:

$$p_{\text{最大}} = \frac{4}{\pi} p_{\text{平均}} = 0.796 \sqrt{\frac{a(D_{\text{上}} + D_{\text{下}})}{D_{\text{上}} D_{\text{下}} \left(\frac{1 - \mu_{\text{上}}^2}{E_{\text{上}}} + \frac{1 - \mu_{\text{下}}^2}{E_{\text{下}}} \right)}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (2-3-58)$$

由于普通压榨上辊为石辊, 下辊为包胶, $E_{\text{上}}$ 远远小于 $E_{\text{下}}$, $\mu_{\text{胶}} = 0.5$, 故(2-3-56)式和(2-3-57)式可分别简化为:

$$c = 1.39 \sqrt{\frac{q D_{\text{上}} D_{\text{下}}}{(D_{\text{上}} + D_{\text{下}}) E_{\text{上}}}} \quad (\text{厘米}) \quad (2-3-59)$$

$$p_{\text{平均}} = 0.72 \sqrt{\frac{q(D_{\text{上}} + D_{\text{下}}) E_{\text{上}}}{D_{\text{上}} D_{\text{下}}}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (2-3-60)$$

可见, 提高线压和增加胶层硬度有利于脱水; 反之, 压辊直径加大, 则会降低比压, 不利于脱水。

另外, 由于上下压辊之间还有湿纸和毛毯, 所以, 采用上式无法正确计算出压榨比压, 因此, 生产实际中只用线压而不用比压。

2. 压榨时间

压榨时间与压辊变形宽度 C 成正比, 而与车速 V 成反比:

$$t = \frac{C}{2V} \quad (2-3-61)$$

在前面压榨脱水机理中已经讲过, 普通压榨的压区宽度中, 只有前半真正起脱水作用, 故在此地讨论压榨脱水时间时, 也只考虑 $\frac{C}{2}$ 。

如为真空压榨, 上压辊位于真空下辊的真空区终点上, 则计算真空压榨的脱水为:

$$t = \frac{C}{V}$$

包胶下压辊有利于脱水。包胶辊一方面可形成比较宽的接触面, 增加了压榨脱水时间。

纸机压榨脱水时间很短。例如某台纸机, 高车速为 600 米/分时, 普通压榨的脱水时间为 $\frac{1}{500}$ 秒; 而真空压榨为 $\frac{1}{80}$ 秒。降低纸机车速, 增加了压榨脱水时间, 脱水效果虽然略有改善, 但降低车速影响纸机生产量, 不是一个好的办法。积极的方法是提高压榨线压 q , 从而加大 C , 所以现代新式纸机中, 压榨线压有提高到 8.8×10^4 牛顿/米 (90 公斤/厘米) 的。

3. 纸料性质

纸料性质是影响脱水效率的一个重要因素。纸料的配比和打浆度, 决定纸料的粘度。提高温度可以降低纸料的粘度, 改进压榨脱水效率。试验结果证明, 湿纸温度从

18℃ 提高到 29℃，在同样的压榨条件下，出压榨部湿纸可提高 2~3% 干度。所以，在某些抄浆机和纸板机上，常常在最后一道压榨之前，装有预热烘缸，以提高最后一道压榨的脱水效率。但对纸机来说，设置预热烘缸会给领纸等操作上带来许多困难，所以在纸机中很少采用。

4. 毛毯性质

毛毯的吸水性和滤水性能也是一个重要的因素。在生产中，毛毯是会慢慢变脏的，特别使用胶料、填料较多的纸料，毛毯尤易变脏。一旦毛毯脏了，经纬线间的眼孔堵塞，因而降低了它的吸水性和滤水的能力。所以经常保持毛毯处于清洁状态，对造纸来说是非常重要的。自然，毛毯本身羊毛的质量、化学纤维用量、以及毛毯的织法、厚度和运转时的松紧程度等等，都对毛毯的吸水性和滤水性能发生直接影响，这些将在下面详细讨论。

(八) 压榨毛毯

1. 毛毯的作用

压榨毛毯主要有以下几种作用：

- (1) 将伏辊上揭下来的湿纸页，传递送过压榨部各道压榨；
- (2) 作为脱水的介质。在它通过压榨时，帮助脱掉湿纸中的水分；
- (3) 对强度不大的湿纸来说，起着一种垫层的作用；
- (4) 能够改善纸的表面性质。

2. 羊毛的性质

压榨毛毯用羊毛作为基本原料，取其羊毛作出来的毛毯具有良好的弹性、容易脱水、不易污脏、毯面平滑等优点。

从羊毛、尼龙、棉纤维三者的应力/应变曲线（图 2-3-112）可以看出，羊毛具有最好的回弹性。

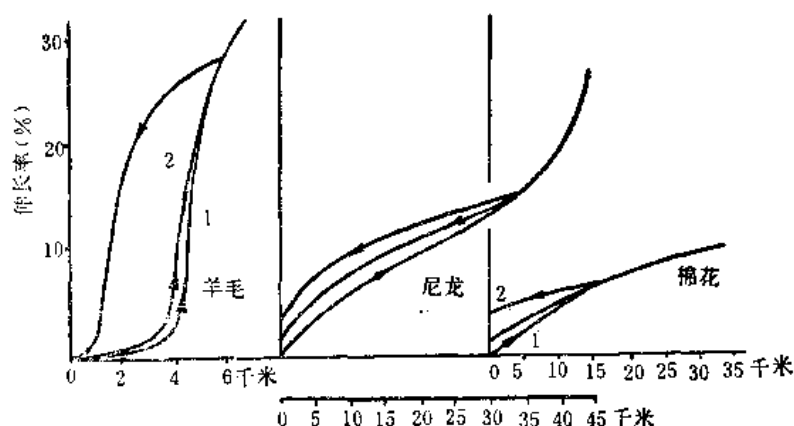


图 2-3-112 羊毛、尼龙、棉纤维的应力/应变曲线

羊毛不仅有良好的弹性，并且还有相当好的稳定性和对微生物及化学药品的抵抗能力。羊毛的化学结构是由蛋白质分子长链所组成，在横向并有两种方式成直角联结，即脱氨酸($R-GH_2-S-S-GH_2-R$)联结与盐联结（如图 2-3-113 所示）。

羊毛中的脱氨酸联结及主价键的抗酸性很强，而盐联结在酸性介质中易受破坏。若

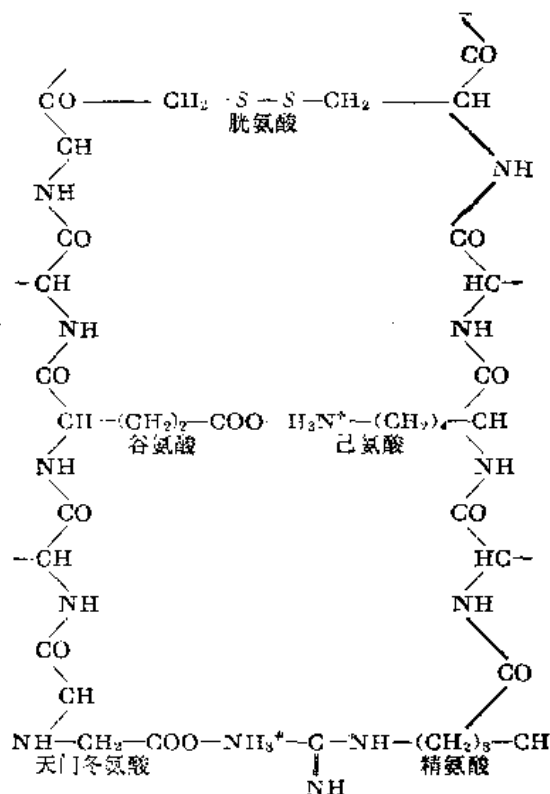


图 2-3-113 羊毛纤维链的组成

pH 值在 4.9~4.7 以下时，则盐联结慢慢伸张，如使用张力不大(约 1.2 公斤/厘米以下)，尚无多大影响；但胱氨酸联结对碱性特别敏感，在碱的作用下，受到破坏而失去弹性。羊毛纤维在不同温度及 pH 值情况下作用如 2-3-114 图。所以毛毯在使用时要避免高温和碱性。

羊毛有很大的弹性，这从羊毛纤维分子的结构形式可以看出(图 2-3-115)。

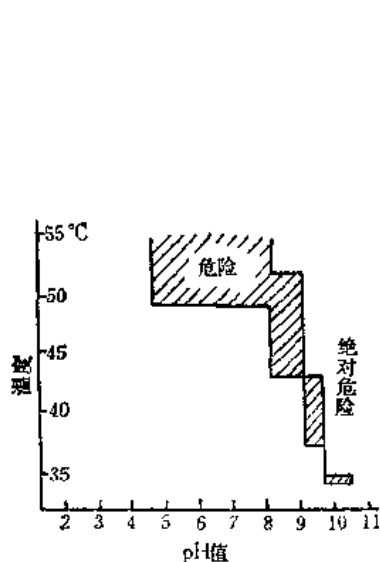


图 2-3-114 羊毛纤维在不同温度和 pH 值下作用情况

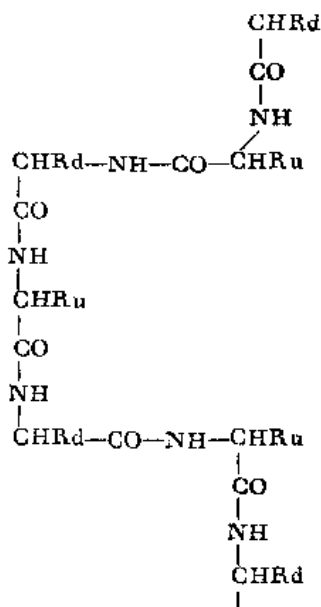


图 2-3-115 羊毛分子结构形式示意图
(u 和 d 表示侧链 R 向上或向下)

羊毛具有许多优良性质，因此造纸毛毯多用羊毛制成，但羊毛在使用过程中，受到机械磨损、化学损伤、热的分解、细菌酵素分解等作用，寿命减短。羊毛中有大量的 $-NH_2$ 、 $-COOH$ 等活性基，又有胱氨酸联结，因此可进行化学处理(如丹宁、合成树脂等处理)，以改善羊毛的性质。

3. 压榨毛毯的类别和要求

压榨毛毯有编织的和针刺的两大类。编织毛毯(又称织造毛毯)是由经纱和纬纱编织而成，针刺毛毯(又称植绒毛毯)，则是在松而坚实的底布上，单面或双面刺上一层毛网。

常用的针刺毛毯，除了上述的普通针刺毛毯以外，还有稀纬底布针刺毛毯和无纬底布针刺毛毯。

研究针刺毛毯堵塞机理发现，堵塞在毛毯中的细小杂质只有6%积存在毛网层中，其余94%都是积存在底布上，而且底布上的这些细小杂质，72%是积存在纬线上，在经线上的只有22%。因此，如能减少底布的纬线密度，或者根本没有纬线，当然就能大大地减少毛毯的堵塞，从而延长毛毯的使用寿命。这就是稀纬底布针刺毛毯和无纬底布针刺毛毯的研究发展理论基础。

稀纬底布针刺毛毯不同于普通针刺毛毯的地方是底布的纬线较稀较少。有的采用精纺纱线作纬线，最近也有用较硬的高紧单丝作纬线的。至于无纬针刺毛毯，底布是用可溶于水的纤维纺成纬线和普通经线编织而成，针刺植绒完了，再用水将纬线溶解掉，也可以不用底布，而直接植毛在经线上。

理想的压榨毛毯要求有良好的滤水性、平整性和耐用性。三者之间互相影响，如强调某一方面，将会影响其他一个或两个方面(图2-3-116)。

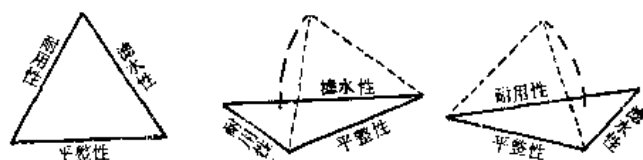


图 2-3-116 毛毯的三大要求

(1) 编织毛毯：编织毛毯通过纺纱、织造、镶头、缩呢、洗呢、拉毛、烘干定型等工艺过程制成。

编织毛毯有许多种织法，如图2-3-117所示。

在编织毛毯中，影响毛毯三大要求的因素很多，例如羊毛的性质、纱的支数和捻度以及毛毯的织法，其中以织法影响最大，兹分述如下：

① 毛毯织法与滤水性：平织 $<\frac{2}{2}$ 破斜纹 $<\frac{1}{3}$ 破斜纹 $<\frac{1}{4}$ 破斜纹 $<\frac{1}{5}$ 破斜纹。

② 毛毯织法与平整性：平织 $<\frac{2}{2}$ 破斜纹 $<\frac{1}{3}$ 斜斜纹 $<\frac{1}{4}$ 破斜纹 $<\frac{1}{5}$ 破斜纹。

③ 毛毯织法与耐用性：平织 $>\frac{2}{2}$ 破斜纹 $>\frac{1}{3}$ 破斜纹 $>\frac{1}{4}$ 破斜纹 $>\frac{1}{5}$ 破斜纹。

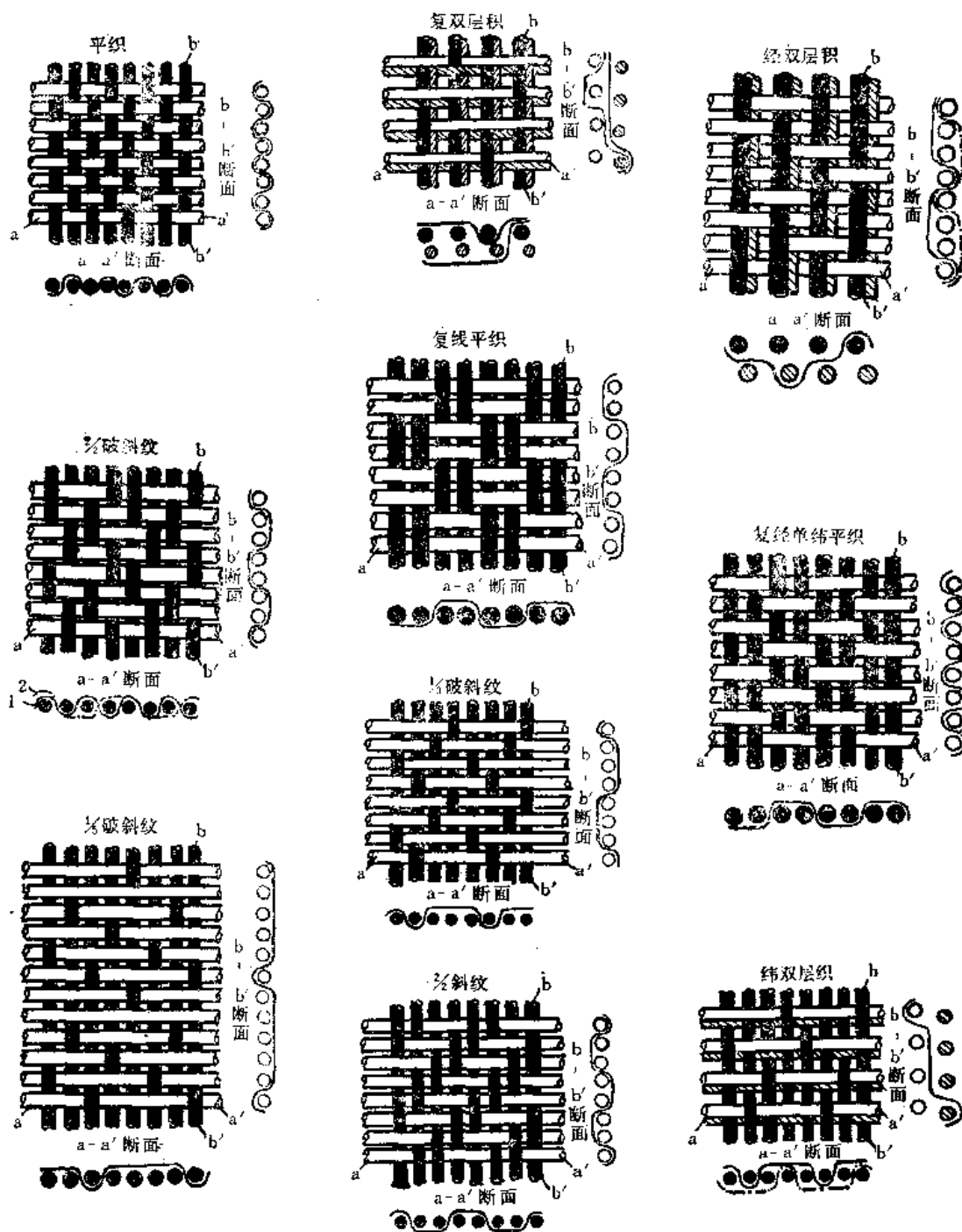


图 2-3-117 毛毯织法

毛毯因织法、重量和起毛程度不同而有不同的性质。生产纸时，应根据成品质量的要求，选用适当的毛毯。一般长网纸机抄造新闻纸和包装纸等纸张时，一压毛毯多采用平织、疏松多孔、起毛好、每平方米重约 610~700 克，二压毛毯和一压毛毯相同，但重量大一些，一般采用每平方米重 685~750 克的毛毯。也有将一压用过的毛毯再用作二压毛毯，不过因绒毛磨损，容易产生毯痕。三压毛毯要求起毛好、平整均匀，多用斜

纺织法，每平方米重 800~850 克或更重一些。

在生产高级书写纸和证券纸时，由于纸料特性，滤水会感到困难，但这种纸还需要相当高的平滑度和完全消除毯痕，所以使用的毛毯除应具备很好的滤水性以外，还要有比较好的平整性，一般多用破斜纹毛毯，也有使用极细致平织毛毯的。

生产高级纸用的毛毯重量，一般情况是：一压毛毯每平方米约重 440~500 克；二压毛毯较重而且紧密，每平方米约重 475~820 克；三压或最后一道压榨，毛毯要求最厚，并有很重的毛头。

抄造普通薄纸用的毛毯是破斜纹或平织的，孔眼比较细。在表面上长绒毛很少，甚至没有长绒毛，实践中，有的工厂在生产薄纸时毛毯往往烧毛。

关于毛毯重量的选择，如表 2-3-17 所示。

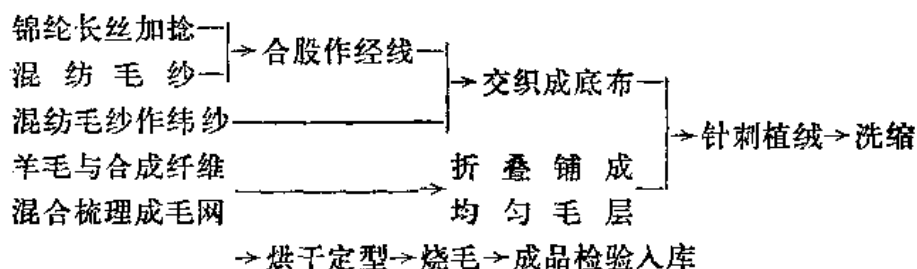
表 2-3-17 各压榨使用毛毯重量表

毛 毯 种 类	一 压 (克/米)	二 压 (克/米)	三 压 (克/米)	产 品 种 类
薄 毛 毯	450	500	700	高级薄纸
中 等 毛 毯	500	550	800	胶版印刷纸、羊皮原纸
厚 毛 毯	650	700	800	新闻纸、凸版纸
较 厚 毛 毯	700	800	900	化学浆板
最 厚 毛 毯	700	800	1000~1500	化学浆板
粗 毛 毯	700	800	1200	纸板及油毡原纸

(2) 针刺毛毯：针刺毛毯是在松而且牢的底布上，单面或双面刺上厚厚的一层毛网——羊毛和合成纤维混合的毛层(图 2-118)。底布和毛网的比例，底布一般为 30~50%，毛层为 50~70%，然后再经过洗缩、烘干定型、烧毛等工序。针刺毛毯的生产流程如下：



图 2-3-118 针刺毛毯制造图



针刺方法基本上克服了编织毛毯所存在的滤水性和平整性的矛盾。

针刺毛毯具有许多优点：

- ① 滤水性能好，纸病少；
- ② 纸的毯痕轻，提高外观质量；
- ③ 规格稳定，平整结实，操作方便；
- ④ 使用寿命长，耐磨性强。针刺毛毯与编织毛毯相比，其使用寿命一般可增加

表 2-3-18

上海工业用呢厂生产的针刺毛毯品种目录

品 名	品 号	平方米重 (克)	铺 层 原 料	组 纹	毛层 正×反	用 途
上 毯	151	900	一级改良毛70%，锦纶30%	2/2破斜纹	2×2	扬格式圆网纸机作上毯
湿毯(中)	201	700	二级改良毛50%，锦纶50%	同上	2×2	长、圆网纸机抄拷贝纸、打字、 卷烟、凸版、胶版纸等
	201-1	700	同上	同上	3×1	同上
	201-2	700	同上	1/1平纹	2×2	同上
	201-3	700	同上	同上	4×0	同上
湿毯(普)	202	800	三级土种毛50%，锦纶50%	2/2破斜纹	2×2	长网纸机抄新闻纸、纸袋纸、 瓦楞纸等
	202-1	800	同上	1/1平纹	2×2	同上
	202-2	900	同上	同上	3×2	同上
	203	740	同上	同上	2×2	长、圆网纸机抄新闻纸、瓦楞 纸、纸袋纸等
	203-1	740	同上	同上	4×0	同上
	204	600	同上	同上	2×1	圆网纸机抄凸版、书写、卫生 纸等
	204-1	600	同上	同上	3×0	同上
	205	700	同上	2/2破斜纹	2×1	长、圆网纸机抄有光、凸版、 书写、胶版、卫生纸等
	205-1	700	同上	1/1平纹	2×1	同上
	206	560	同上	2/2破斜纹	2×0	简易纸机抄书写、有光、卫生 纸等
	207	870	同上	双经单纬 平纹	2×0	多圆网板纸机抄板纸作上、下 压榨用
湿毯(面)	208	600	一级改良毛50%，锦纶50%	1/1平纹	3×1	长网纸机抄高级薄纸作二、三 道压榨用
	209	700	同上	同上	3×2	同上
湿毯(细)	211	650	一级改良毛50%，锦纶50%	1/1平纹	2×2	圆网纸机抄滤纸等
	212	650	涤纶100%	同上	3×3	长网纸机抄胶版、书写纸等
	213	660	同上	同上	3×1	同上
干 毯	361	1300	三、四级土种毛70%，锦纶30%	同上	3×3	双缸双网纸机小烘缸干毯
	362	1500	同上	同上	3×3	长网纸机作烘缸干毯
	363	1700	同上	同上	4×4	同上
	364	2000	同上	同上	5×5	同上
	365	1500	5 D涤纶、腈纶各50%	同上	3×3	同上
	366	1700	同上	同上	4×4	同上
浆 板 毯	481	950	三、四级土种毛50%，锦纶30%	2/2破斜纹	2×2	多圆网板纸机抄板纸、油毡原 纸等
	482	780	同上	同上	2×1	多圆网板纸机抄板纸、瓦楞纸 等
	483	1300	三、四级土种毛50%，锦纶30%	1/1平纹	4×2	多圆网纸机抄浆板
无纬湿毯	214	650	三级土种毛50%，锦纶50%	同上	2×2	长、圆网纸机抄书写、胶版、 卫生纸等
	215	750	二级改良毛50%，锦纶50%	同上	3×2	长、圆网纸机抄信封、凸版、 有光纸等

50~400%。

毛毯的选用与纸机类型、生产纸的品种、纸机车速、纸机牵引力、纸料打浆度、压榨部位等都有关系。

一般地讲，长网纸机所用的压榨针刺毛毯，一压的滤水性要求比二、三压好，二、

三压则要求羊毛，绒面密致。

其次，毛毯底布织法对滤水性和毯痕有密切关系。以毛毯的滤水程度比较，1/1平织最好，2/2破斜纹次之，1/3破斜纹则较差。以毯痕深浅比较，1/3破斜纹较好，2/2破斜纹不明显，1/1平织较差。

针刺毛毯按底布分为：

① 普通底布针刺毛毯，如上海工业用呢厂生产的201-1、201-2、201-3、202、202-1、205、205-1、和206品号针刺毛毯(表2-3-18)，就是这类毛毯。其中201-3是单面铺毛，可解决毯痕，适用于打字纸、书写纸等。206也是单面铺毛，如纸机设备条件较差，或克重大的针刺毛毯用不好，可选用该品号。如有高压水喷洗的纸机，可选202-2，900克/米²，铺毛3×2，寿命更长。

② 稀纬针刺毛毯：如表2-3-18中所列的203、203-1、204、204-1、208、209、213品号毛毯，属于这类。稀纬针刺毛毯的特点是滤水性较好。其中204、204-1适用于脱水条件较差的纸机，208、209适用长网机生产卷烟纸、打字纸、邮封纸、书写纸、凸版纸等，作二、三压毛毯。因底布细薄，铺层用细羊毛和锦纶，故表面平整，毯痕很轻。

③ 无纬针刺毛毯：如表2-3-6中所列的214，用较细羊毛，适宜生产一般纸张。215用改良细羊毛，适宜抄造薄纸。无纬针刺毛毯，出压榨纸页水分较一般针刺毛毯低1~3%，因滤水好，规格稳定，毯痕轻，确属很好的一类针刺毛毯。

目前，除极个别情况尚使用编织毛毯外，一般造纸压榨都改用针刺毛毯，编织毛毯已逐渐趋于淘汰。

这里着重讲讲针刺毛毯的清洗问题。针刺毛毯表面绒毛比较密致，纤维间空隙小，容易被纸料中的细小纤维、填料、胶料、色料、杂质等所沾污，因而逐渐堵塞，造成滤水能力减弱而产生压花等毛病。针刺毛毯与编织毛毯不同，一旦脏了很难洗净，所以必须经常用水冲洗，保持它的清洁。

针刺毛毯质地厚实，如清洗用水量和水压不足，很难冲洗干净。由于毛毯厚，用水冲洗后，毛毯内含水较多，又不容易脱干，毛毯脱水不好，纸页水分过多，就会造成压花现象。因此要求冲洗针刺毛毯比编织毛毯时的水压要高一些，水质要求要好一些，以保证毛毯的清洗效果。

清洗针刺毛毯采用水针状或扇形高压喷头冲洗，喷水压力不低于 $1.47\sim 2.94\times 10^5$ 牛顿/米²(15~30公斤/厘米²)，最好能提高到 $2.45\sim 5.9\times 10^5$ 牛顿/米²(25~55公斤/厘米²)，从毛毯里面向外冲洗(图2-3-119)，把由正面进入毛毯的杂质又冲出毛毯表面，并用真空箱吸走。

高压水清洗视毛毯新旧和脏的情况，可以使用高压水冲洗和普通低压水清洗相结合的办法，不必连续使用高压水清洗。通常每小时用高压水冲洗5分钟即可(或每一班冲洗30分钟)，其余时间或在高压水冲洗之后，使用水压为 $1.47\sim 2.94\times 10^5$ 牛顿/米²(1.5~3.0公斤/厘米²)的低压水喷洗，以整理毛毯表面，消除高压水条痕。采用高压水冲洗毛毯，勿须停机，同时可使毛毯寿命延长30~50%。纸板机毛毯用高压水清洗，可不用打毯器。

(九) 圆网造纸机的压榨部

单网单缸和双网双缸造纸机的压榨部，分别见图 2-3-120 和图 2-3-4。

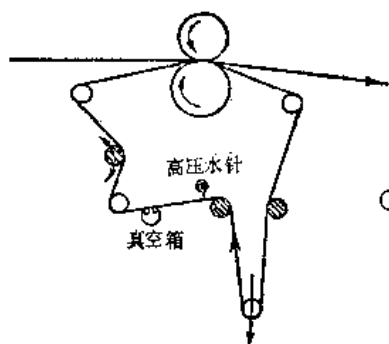


图 2-3-119 高压水清洗示意图

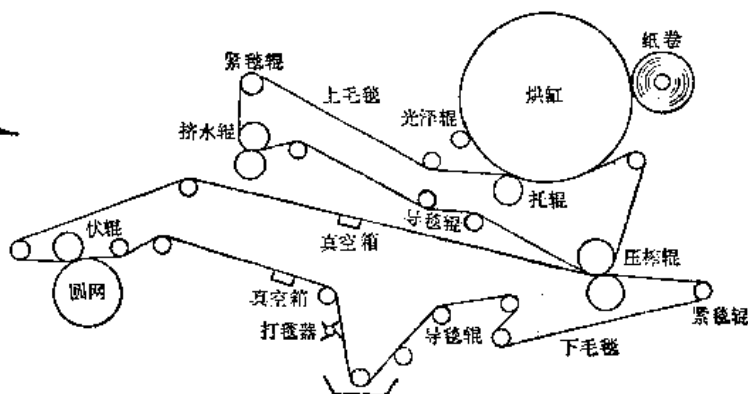


图 2-3-120 单网单缸造纸机

圆网上成形的湿纸页，干度只有 2% 左右，经过伏辊初步挤压脱水之后，干度提高到 5~8%，但湿纸页强度仍然很差，由下毛毯剥离圆网，粘在下毛毯上向压榨部行进，在还没有进入压榨之前，湿纸页被上、下毛毯夹着通过压榨辊压榨脱水。

普通圆网造纸机的上压榨辊一般为铸铁辊，也有辊面喷镀铜的，下压榨辊为有中高的包胶辊，其加压装置见图 2-3-121。转动手轮升降上压辊，采用杠杆重锤方式加压。目前圆网纸机的下压辊也大都改为沟纹辊。

压榨脱水后的湿纸页，被组织细密的上毛毯从下毛毯上揭走，带往烘缸去，再经托辊挤压脱水，最后转而贴在烘缸上加热干燥。

托辊的构造与压榨辊相同，只是直径略小一些，其加压装置如图 2-3-122 所示。由于进到托辊处的湿纸含水量已经较少，压榨脱水比较困难，故托辊应当采用硬度较大的包胶辊，并且用沟纹辊。

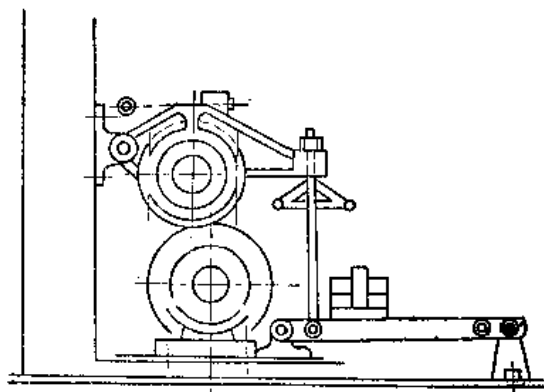


图 2-3-121 加压装置

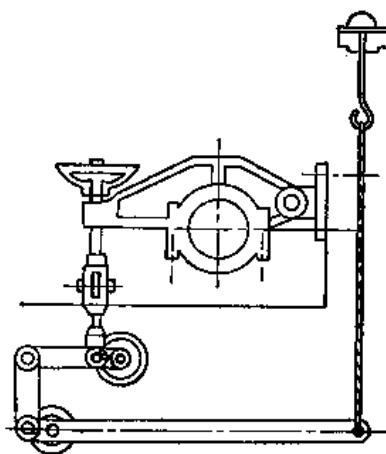


图 2-3-122 托辊加压装置

圆网造纸机中，下毛毯不仅托着湿纸移动，而且还带着圆网、伏辊以及展毯辊、紧毯辊、导毯辊、挤水压榨辊等转动，所以下毛毯要有比较大的强度，另外，也要求下毛毯要有相当好的平滑性和良好的滤水性。下毛毯如为编织毛毯，应采用定量为 650~730

克/米²的 1/1 平纹毛毯或 680 克/米²的 2/2 破斜纹或 1/3 破斜纹毛毯。由于针刺毛毯经久耐用, 目前圆网造纸机多改用 600~740 克/米²的针刺毛毯。圆网纸机的上毛毯与一般湿毛毯不同, 它担负着由下毛毯揭去湿纸送往烘缸干燥。在通常情况下, 湿纸和表面平滑程度不相同的两个表面接触时, 因为较平滑一面的接触面积大, 所以湿纸是跟平滑的一面跑。因此, 上毛毯是用细羊毛织成紧密的斜纹毛毯, 一般用 800~1200 克/米²的 1/3 破斜纹或 1/5 破斜纹毛毯。上毛毯上机前需要燎毛。另外, 有时也可以使用用旧了的下毛毯作上毛毯。目前上毛毯多改用定量为 900 克/米²的 2/2 破斜纹针刺毛毯。

在下毛毯出压榨辊回到圆网去的过程中, 经过喷水管冲洗和打毯器拍打, 清洗去掉毛毯里的脏物, 再经毛毯挤水压榨提高干度后, 回到圆网和伏辊之间去揭纸。

圆网纸机常用的打毯器, 是一个带着几根木棍或几条木板的转动辊子 (见图 2-3-123)。转动中的木棍(或木板)不断地拍打毛毯, 从与湿纸接触的毛毯一面擦过, 把毛毯上的脏物和湿纸屑打掉。毛毯在进到与打毯器接触之前要在反面喷水, 使脏物从毛毯中冲洗出来, 以后再用水从正面冲洗, 冲掉脏物。打毯器和喷水管的安装位置, 如图 2-3-124 所示。

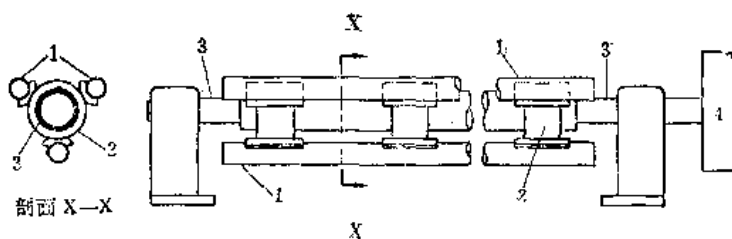


图 2-3-123 打毯器
1—木棍 2—三脚架 3—辊轴 4—皮带轮

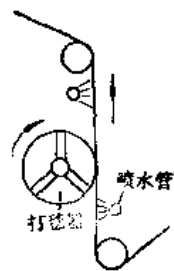


图 2-3-124 打毯器、喷水管安装位置图

如果下毛毯用的是针刺毛毯, 可采用两根喷水管, 两面对冲。水压大小以能穿过毛毯为度, 一般水压为 $1.96 \sim 4.9 \times 10^5$ 牛顿/米² (2~5 公斤/厘米²)。

四、干 燥 部

湿纸经过压榨部最末一道压榨后, 一般干度只有 30~40%, 就是在有复合压榨的新式纸机中, 干度也仅达到 40~50%, 因此须要借助于烘缸进行蒸发水分, 使成纸的干度提高到 92~95%。

纸机的干燥部由一个至若干个烘缸组成。有时, 在干燥部最后两组烘缸之间, 还装有一道半干压榨。纸在多烘缸纸机干燥部的停留时间通常为 20~40 秒, 至于在单烘缸纸机的停留时间, 那就更短了。

造纸机中最长的就是干燥部。干燥部的重量为纸机总重量的 60~70%, 设备费用和动力消耗均占整个纸机的一半以上, 蒸汽消耗占纸的生产成本 5~15%, 所以合理的设计纸机干燥部与节省建设投资、提高生产能力、保证成品质量和降低生产成本都有着极为重要的关系。

(一) 干燥部的作用和组成

干燥部在造纸过程中，主要是继压榨部之后脱除湿纸的水分，另外也同时起到下列三种作用，即提高纸的强度、增加纸的平滑度和完成纸的施胶。

干燥部因纸机生产不同纸种而有不同的组成，普通多烘缸造纸机、多缸薄页纸纸机、双烘缸纸机、单烘缸纸机、干燥部的组成，分别如图 2-3-2、2-3-3、2-3-4 和 2-3-120 所示。

(二) 干燥与纸张性质的关系

1. 机械强度等

进入干燥部的湿纸中有三种不同形式的水分，即游离水、毛细管水和结合水。干燥时，首先去掉的是纤维间的游离水，其次是纤维微孔中的毛细管水，最后才是纤维细胞壁中部分的结合水。

干燥时，纸的柔性、塑性的强度发生变化、并且产生收缩。

干燥初期，纤维彼此间可以自由滑动，去掉游离水分以后，水的表面张力开始将纤维拉拢在一起，但在纸的干度小于 40% 时，纤维结合并不明显，一旦干度达到某一临界数值，纸中纤维收缩开始产生氢键结合。当纸的干度达到了 55% 以上，随着水分含量的减少，或者说随着干度的增加，纸的强度迅速增长(图 2-3-125)。

湿纸在烘缸上干燥时，纸是被干布压在烘缸表面上的，横向收缩受到阻碍，但纸的纵向受着牵引力的作用，不仅无法自由收缩，相反甚至受到拉长，因此这种加在纸上的牵引力将使纸的本身产生应力，增加了纸的刚性和作用力方向的抗张强度。对于书写纸和目录纸这类纸来说，增加纸的刚性是有利的，但却不利于纸袋纸和新闻纸，因为后两种纸一般希望要有韧性。

由于干燥时纸的纵向拉长，成纸的可伸长性减小，耐破度下降(图 2-3-126)。耐折度开始增加，但是随着纸的水分减小，纤维塑性的下降，所以升到最高点以后转为下降。

至于断裂度，有人发现当纸的干度提高到 75% 左右时，它与可伸长性大大降低。

干燥过程中加在纸上的牵引力也会改变纸的尺寸稳定性。纸机干燥的纸，纵向伸长率不大，吸湿变形性不如手抄纸片。

干燥时纸的收缩对其透明性也有显著影响。纸的收缩小，透明度下降，所以在生产透明纸时，应当让纸在干燥时尽量收缩。

干燥不仅影响纸的机械强度，还会影响纸的紧度、吸收性、透气度、平滑度和施胶度等其他性质。这些性质的改变，又与干燥方式有密切的关系。快速升温的高温强化干燥，将会增加纸的松软性、气孔率、吸收性和透气度，减少纸的紧度、透明度和机械强度；反之，缓慢升温的低温干燥，结果恰恰相反。至于真空干燥的纸，比较疏松，紧度小，透明度、施胶度和机械强度都较低。

纸页过度干燥，一方面因为纤维的塑性减小，同时，由于纤维素产生氧化降解，纸的强度受到影响。例如棉纤维在 120℃ 温度下加热 5 分钟，裂断长损失 30~40%。另外，长时间的加热干燥将使纤维素产生热解，因而聚合度下降，结果 α -纤维素含量减少， β -和 γ -纤维素含量增加。有人将棉浆在不同温度下干燥 1 小时，研究结果证明：增加干燥温度，铜胺粘度大为降低。

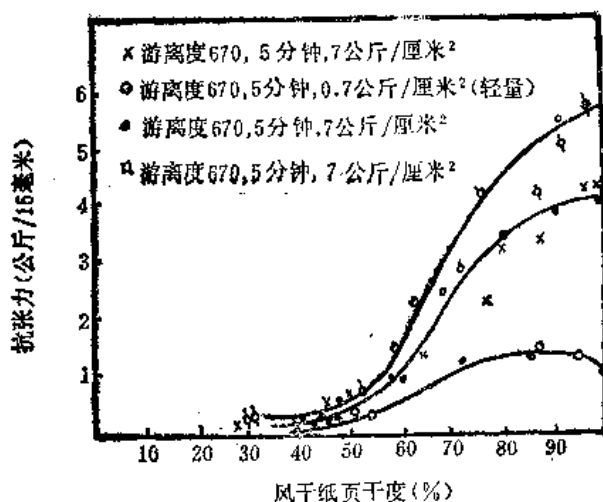


图 2-3-125 纸页干度与抗张力的关系

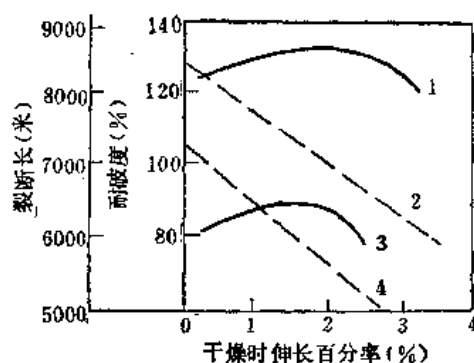


图 2-3-126 干燥时牵引伸长对裂断长、耐破度的影响

1—裂断长(游离度 225) 2—耐破度(游离度 225) 3—裂断长(游离度 670) 4—耐破度(游离度 670)

在纸机中纸的干燥时间很短，一般不超过 1 分钟，所以不会发生纤维素的降解，但如采用高温热风干燥，干燥过度时也难免会有热解作用。

2. 干燥时纸的收缩

纸在干燥时的收缩决定于纤维种类、化学组成、半纤维素和木素含量、浆料打浆度和纸机抄造情况，后者尤指纸机湿部和干燥部的牵引力大小和干布的松紧。

纸机干燥的纸，主要是在厚度上产生收缩(减少 50~200%)，至于横向和纵向的收缩，则因纸机牵引力和干布压纸的关系，远远不如厚度上的变化，而且纵向又不如横向。

凡是纸在纸机上收缩愈大，则成纸的伸长率愈高，吸湿变形性也愈大。

纸的收缩大小与浆种有密切关系。例如破布浆和含大量机木浆的纸，收缩性最小，化学浆次之，高粘状打浆的硫酸盐浆收缩最大。另外，纸机宽窄也有影响，当其他条件完全相同，宽纸机干燥的纸，横向收缩大于窄纸机生产的纸。在整个纸机中(包括湿部)，纸的横向收缩以干部最大，平均占总收缩量的 80% 左右。

纸的横向收缩在整个纸机宽度上也不一致，一般情况是两边收缩大，中间部分收缩较小。原因是润胀和细纤维化了的浆料抄成的纸，具有典型的凝胶性质，干燥时，外部收缩大而中央收缩小。因此对伸长率和韧性要求高的纸来说(例如纸袋纸等)，为了避免由于整个纸幅收缩不一致而引起折子的毛病，有人建议可将湿纸先切成几条较窄的纸幅，然后进入干燥部进行干燥，以便纸的两边收缩率可以减小，而成纸的伸长率可以加大，但由于给操作带来困难实际上并未采用。另外也可以在第一组烘缸使用展纸棍，减少湿纸的横向收缩。

有人利用亚硫酸浆手抄纸片进行研究，发现在纸的干度达到 55% 左右时，纸的收缩迅速产生，等到干度为 80% 时，收缩大体完成。强度的发展也和纸的收缩基本吻合，即从干度为 55% 左右开始，强度迅速上升，等到纸的干度达到 80~90%，强度几乎不再增加

(图 2-3-127)。

纸的收缩及其强度与牵引力大小和干布松紧密切相关。从伏辊处揭下来的湿纸在无牵引力和干布影响下自由干燥，抗张强度和耐折度均有所提高。但如湿纸受到压榨部牵引力的作用，干燥后耐破度下降约 15%；受到干燥部牵引力的影响，下降可达 20% 左右。耐破度的下降几乎与牵引力大小呈直线关系，当纸的伸长为 3.5% 时，耐破强度下降达 40~50% (图 2-3-126)。

在牵引力作用下，干燥能够提高抗张强度的原因，是由于提高了纤维应力分配均衡性的结果。换言之，在自由收缩的纸中，结合键呈片状断裂，而在有牵引力干燥的纸中，外力同时分配在更多的结合键上，最后表现为抗张强度的增加。

随着干燥时纸的伸长，纸的纵向裂断长由于纤维的顺序定向，开始增加，以后又再下降，而横向裂断长则始终是随着伸长而下降的。干燥时因为纵向牵引力而引起的纤维纵向定向，加大了成纸纵横向裂断长的差值。

干燥时，纵向牵引力愈大，成纸的纵向伸长率愈小，但纸的横向伸长率有所提高 (表 2-3-19)。

纸机上控制干燥时纸的收缩主要是靠改变牵引力大小和干布的松紧程度。纸的收缩都是发生在干燥的后期，所以生产中应当特别注意调整各组烘缸之间的速度差和干布的

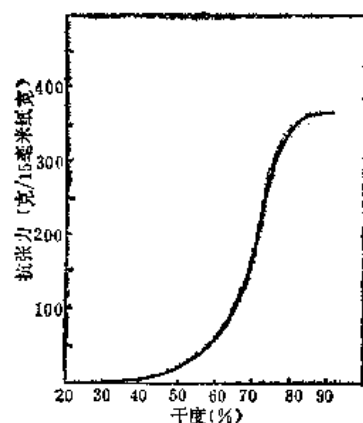


图 2-3-127 纸的干度与抗张力的关系

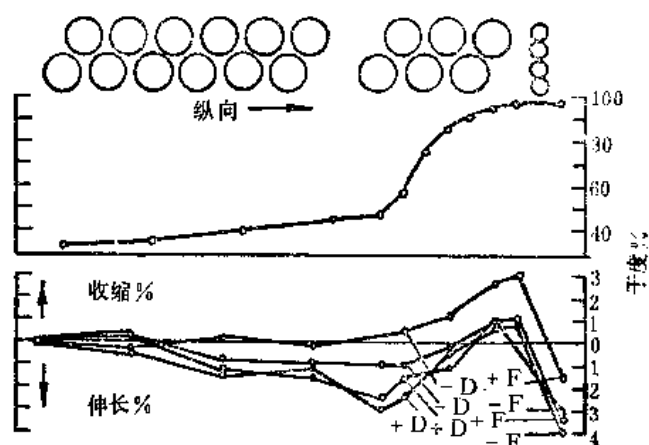


图 2-3-128 干度与纵向收缩

表 2-3-19 干燥时纸的伸长与纸纵横向机械强度的关系

干燥时纸的伸长 (%)	裂 断 长 (米)			裂断时纸的伸长 (%)		耐 破 度 (%)
	纵 向	横 向	平 均	纵 向	横 向	
0	6670	6190	6430	3.7	6.4	126
0.50	7000	6120	6560	3.1	6.2	104
1.00	7370	6380	6880	2.7	6.9	110
1.50	7120	5820	6470	2.4	6.8	91
2.00	6700	5910	6310	2.2	6.8	85
2.50	6940	5370	6160	1.8	6.8	82
3.00	6730	4550	5870	1.6	7.1	79
3.75	6350	4630	5500	1.6	7.1	66

松紧。图 2-3-128 和 2-3-129 表示干布松紧和牵引力大小对纸收缩的影响。图中 D 表示牵引力, F 表示干布, $+$ 表示大或紧, $-$ 则代表小或松。为了保证纸的质量, 通常在最后一组烘缸, 干布宜紧而牵引力宜小。

由此可见, 纸机干燥部的牵引力、干布的松紧和整个干燥部的干燥曲线, 可以改变成纸的裂断长、耐破度、伸长率、紧度、吸收性、透气度、吸湿变形和透明度等。

3. 变力、应变

纸不是一种纯粹的弹性物质, 受到力作用后, 将会产生永久变形。纸的这种塑性行为, 不仅与所加力的大小有关, 并且还和力作用的时间长短也有密切联系。

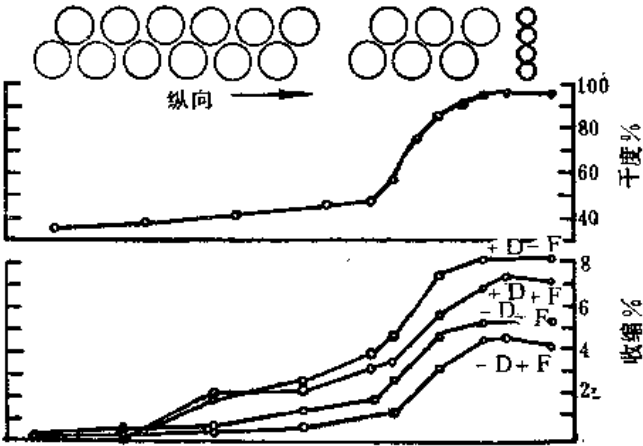


图 2-3-129 干度与横向收缩

因为纸是一种塑弹性体, 在加一定荷载的情况下, 不仅产生瞬时变形(图 2-3-131 中 OA), 而且继续产生延迟变形或初期蠕变。如果等待片刻立即骤然卸去荷载, 纸的长度不能完全恢复, 甚至经过一段相当长的时间, 也不能恢复到原来的长度(图 2-3-131)。纸的这种永久变形称为永久应变(图 2-3-130 中 OD)。应变时间曲线表明, 同样的两种变形恢复特性, 即瞬时恢复与蠕变恢复(图 2-3-131 中 BG 和 CD)。

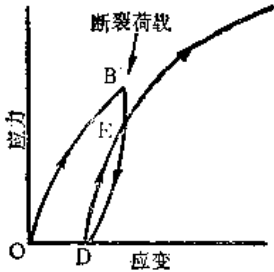


图 2-3-130 应力-应变图

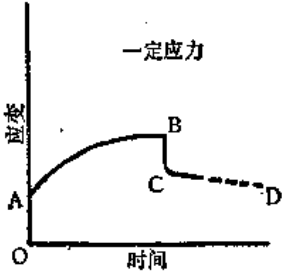


图 2-3-131 应变-时间图

前面讲到, 湿纸在干燥部干燥时, 纵向牵引力可以提高纸的抗张强度, 但却降低纸的伸长率, 原因是纸在受到超过塑变点(即弹性阶段与塑性阶段切线的交点)以上的牵引力时, 荷载-卸载-荷载过程将使应力-应变曲线沿着图 2-3-130 中 DE 线上升, 表明纸的弹性增加, 塑性减小。这种过程称为拉硬作用或机械调理。

干燥时加大牵引力, 塑变点升高, 故拉长时需要更大的张力, 或者说, 在一定张力情况下, 纸的伸长率下降(图 2-3-132), 因而纸的裂断长和塑变力增加, 伸长率和破裂功减小(图 2-3-133)。

众所周知, 功等于力乘距离。纸张断裂前应力-应变曲线下的面积即破裂功, 破裂功表示纸在断裂时吸收能量的大小。凡是破裂功愈大的纸, 愈不容易破裂。如果抗张力不变的话, 纸的伸长率越大, 断裂时所做的功越多, 因而纸的断裂可能性越少。

纸张断裂时的伸长率是纸袋纸、包装纸极为重要的一项指标。如果不降低纸的抗张

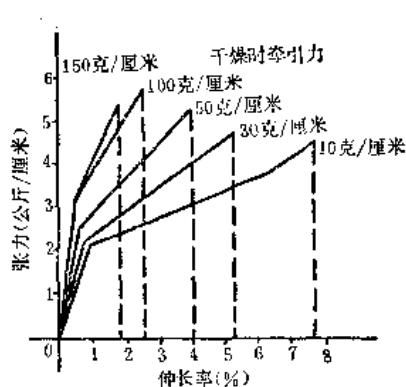


图 2-3-132 干燥时牵引力与塑变点和张力

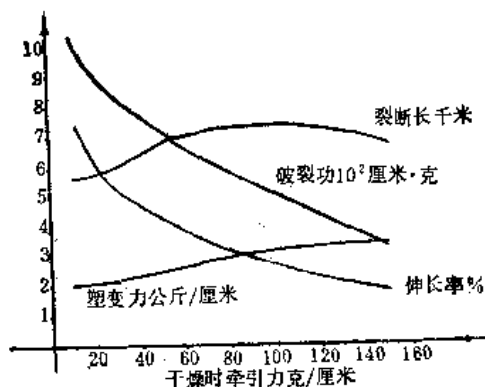


图 2-3-133 干燥时牵引力与纸张断裂长、塑变力、伸长率和破裂功的关系

力而又能增加它们的伸长率，就能加大其破裂功，因而，有可能减小纸袋纸的定量和减少多层纸袋的层数——这就是韧性纸(又名弹性纸、可伸长纸)生产的理论依据。韧性纸的纵向伸长率可达到10~20%，而一般纸只有0.5~2.0%，故其韧性远远大于一般的纸。

对卷筒新闻纸来说，纸的韧性也很重要。韧性大的新闻纸卷筒，在高速印刷机上的断头次数可以减少，可提高印刷效率。

现举一抄宽为6米、车速700米/分、生产定量为50~150克/米²水泥袋纸的高速纸机为例说明韧性纸袋纸的生产过程和作用原理。生产韧性纸的增韧装置见图2-3-134(1)。增韧装置中有一直径为1,250毫米的镀铬烘缸，缸内通压力为 $6.87 \sim 8.83 \times 10^5$ 牛顿/米²(7~9公斤/厘米²)的蒸汽加热。烘缸外边包有一条厚约25毫米、长7~8米的

橡胶带，胶带对烘缸的包角为90°左右。胶带内有紧带辊、和压带辊。紧带辊使胶带保持49~59牛顿/厘米(5~6公斤/厘米)的张力、压带辊则借气动缸或隔膜将胶带压在烘缸表面上。胶带外有一调带辊。为了调节进入镀铬烘缸纸的干度，冷却和润滑胶带，还特地安装有喷水管。

图2-3-134(2)中A表示正常情况下的一段胶带，等到胶带进到压榨辊与烘缸之间时(如B所示)，因为受到压榨作用，胶带外边产生伸长，通过B点以后，胶带又恢复到原来形状(如C所示)，甚至因为包在烘缸表面上的关系，反而略有缩短。

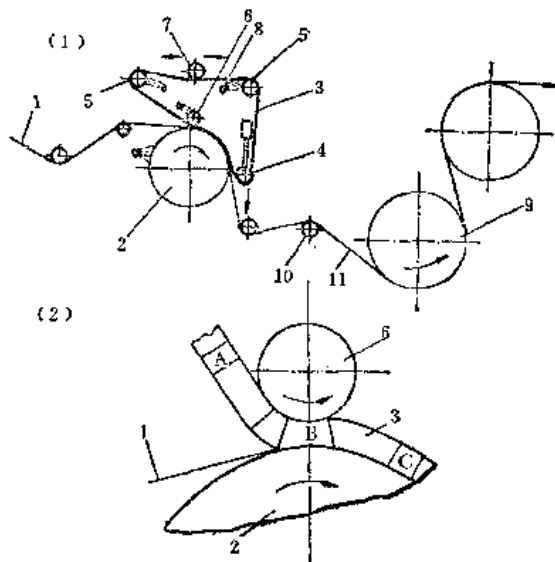


图 2-3-134 增韧装置

(1) 装置图 (2) 作用原理图

1—处理前的纸幅 2—镀铬烘缸 3—胶带 4—紧带辊
5—胶带辊 6—压带辊 7—调带辊 8—喷水管 9—烘缸
10—引纸辊 11—处理后的纸幅

当半干湿纸进到增韧装置的压缝中时，纸就随着胶带一齐伸长，因为镀铬烘缸表面极为光滑，不易粘纸，以后又跟着胶带一起缩短，于是纸上产生一种超皱现象。纸的外观粗看起来，和一般纸并无两样，但是由于纸有超皱存在，纵向伸长率却大大增加了。

在生产韧性纸时，进入增韧装置的湿纸含水量非常重要，一般要求是在 65%~70% 干度范围，故增韧装置通常是安装在干燥部第二、三组烘缸之间（纸机烘缸分为三组时）。

韧性纸的纵向伸长可达 10~20%，横向为 1~2%。图 2-3-135 和 136 表示一定量为 81 克/米² 普通纸袋纸与韧性纸袋纸纵横向破裂功的比较，表 2-3-20 表示两种纸袋纸性质上的差别。可见韧性纸袋纸的纵向伸长是普通纸袋纸的五倍，破裂功大到三倍以上，但抗张强度稍有下降（15~25%）。至于横向，破裂功增加不多，而抗张强度减小也不大。

增韧装置有带式 and 辊式两种。前面讲的就是带式，图 2-3-137 表示另一种辊式增韧

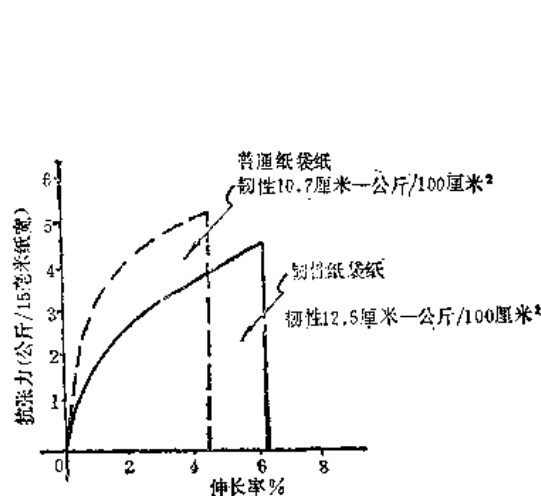


图 2-3-135 纸袋纸纵向破裂功比较

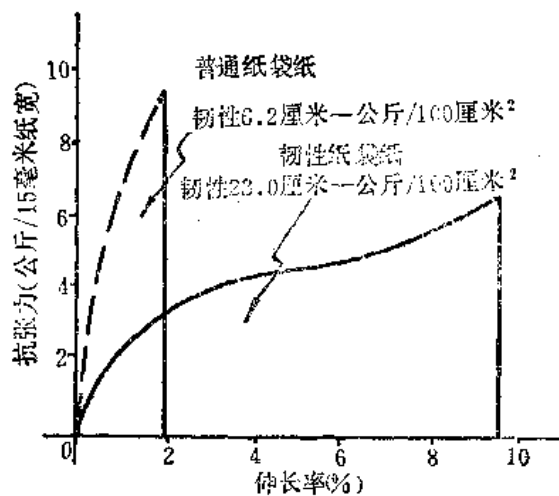


图 2-3-136 纸袋纸横向破裂功比较

表 2-3-20

韧性纸袋纸与普通纸袋纸性质比较

性 质	定 量 (克/米 ²)					
	65		81		93	
	韧 性	普 通	韧 性	普 通	韧 性	普 通
抗张力 (公斤/15毫米)						
纵 向	5.0	6.8	6.2	8.7	8.1	12.2
横 向	4.3	4.0	5.0	5.4	6.0	6.2
伸长率 (%)						
纵 向	9.5	1.8	9.6	1.9	9.4	2.1
横 向	5.9	4.2	5.6	4.2	5.0	3.9
破裂功 (厘米·公斤/100厘米 ²)						
纵 向	18.9	4.5	25.0	6.2	29.0	8.7
横 向	10.2	8.0	12.5	10.7	14.7	11.1
断裂度 (克)						
纵 向	106	102	133	130	162	151
横 向	124	112	172	150	181	169
透气度 (秒/100毫升)	9	7	9	7	16	9

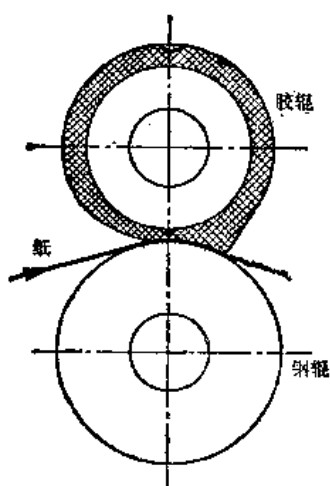


图 2-3-137 辊式增韧装置

装置。

4. 纸的收缩与分组传动

前面已经讲到，纸在干燥时厚度收缩最大，纵横向比较小，而且纵向因为受到压光机和卷纸机的牵引力，最终表现为纸的伸长。一般伸长为 0.5~1.0%。

纸的横向收缩与纸浆种类、纸料打浆度有密切的关系。通常按纸的横向收缩，可以分为四类，见表 2-3-21。

干燥时，干布张得越紧，纸的横向收缩越小。为了提高纸的质量(如裂断长、耐破度等)，原则上应当是每个烘缸的圆周速度能够与纸的干燥收缩相适应。办法之一是将最后几个烘缸的直径逐步减小来适应纸的收缩。例如有一烘缸直径为 1250 毫米的纸机，其最后六个烘缸的直径尺寸分别为 1252、1251.5、1251、1250、1249.5、1249 毫米。这种办法要求相邻两个烘缸的直径相差不超过 0.5 毫米，在制作上需要有很高的精度，所以目前已不采用。

表 2-3-21

纸的收缩与烘缸分组

类 号	类 别	纸 种	横向收缩率 (%)	每组烘缸个数
一	高打浆度的纸类	电容器纸、防油纸、卷烟纸等	6.5~13.0	1~3
二	中等打浆度的纸类	书写纸、印刷纸、电缆纸等	5.0~6.5	4~6
三	低打浆度的纸类	新闻纸、水泥袋纸、胶版印刷纸、照相原纸等	2.0~5.0	6~12
四	纸板和浆板类	纸板、浆板	1.5~2.0	12~18 或18以上

另一种办法就是采用烘缸分组传动。

从理论上讲，每个烘缸都应当有一单独传动，自备一床干布。可是纸机如果这样分组，势必会使纸机传动过于复杂，设备造价也增多了，所以只有在生产超薄型纸时(如电容器纸等)，方可使用。目前都是采用烘缸分组传动，每条干布包的烘缸数目(即所谓的每组烘缸个数)，决定于纸的收缩率(见表 2-3-21)。

(三) 干燥过程原理

纸的干燥是一项相当复杂的传质和传热过程。

1. 烘缸干燥区

就每一个烘缸来说，它都有四个不同的干燥区(图 2-3-138)。湿纸在 ab 贴缸干燥区中，从烘缸表面吸取热量，用来提高湿纸本身的温度和进行水的蒸发。bc 为压布干燥区，湿纸被干布压在烘缸表面上进行干燥，在这一干燥区中传热量最多。cd 也是一个贴缸干燥区，但湿纸在恒定温度下进行单面自由蒸发。de 为双面自由蒸发干燥区，这时纸已离开烘缸，只是依靠本身的热量进行蒸发，纸的本身温度下降，需要到下一个

烘缸重新升高温度。在高速纸机中，双面自由蒸发干燥区中纸的温度约降 4~5°C 普通低速纸机中下降 12~15°C。由此可见，每个烘缸各个干燥区的传热效率是各不相同的。

由于 ab 和 cd 两个干燥区不仅很短，和烘缸表面贴合又不是非常紧密，故蒸发水量并不太多，只占干燥部脱水量的 5~10%。bc 区蒸发水量最多，在低速纸机中为 80~85%，高速纸机也有 60~65%。至于 dc 区的蒸发量，则随车速而增加，可以达到总蒸发量的 20~30% 或者更多。双面自由蒸发干燥区的干燥能力，因为随着干燥进行，纸的含水量逐步减少，热含量也逐步降低，所以，愈在干燥部后端，蒸发水的能力愈小。

从干燥部的各个烘缸来看，纸的干燥都有一个升温、降温、再升温的循环过程。

因为蒸汽分压的下降远远大于温度的降低，而纸中水分的蒸发速度又与湿纸和外界的蒸汽分压差成正比例，所以双面自由蒸发干燥区的温度下降，给纸机生产能力带来不良影响。

双面自由蒸发干燥区中纸的温度降，在干燥部前端最大，后端较小。例如有一车速为 111 米/分的纸机，第一、二两个烘缸之间纸幅温度降为 5~6°C，最后两个烘缸只有 3°C 左右。另外，纸的温度下降还与纸机车速有关，这点上面已经谈过了。

单烘缸干燥时，或只用一个大直径烘缸时，湿纸干燥没有降温过程，所以它的干燥效率大于一般多烘缸干燥。

2. 干燥方式和干燥过程的阶段性

纸在干燥部有两种干燥方式，即对流干燥与接触干燥。

对流干燥是在烘缸间双面自由蒸发干燥区中和低温烘缸上进行，其干燥过程可以分为恒速和降速两个阶段。湿纸经烘缸加热到外界空气的湿球温度以后，开始恒速干燥阶段。在恒速干燥阶段中，水从纸的内部扩散到纸面的速度，等于纸面蒸发水分的速度，湿纸的温度接近于空气的湿球温度。

当湿纸水分降低到一定数值，水从内部扩散到纸面的速度小于纸面蒸发水分的速度时，降速阶段开始，这时干燥速率下降而纸的温度上升。

对流干燥的干燥速率服从于道尔登方程式：

$$\frac{dW}{F dZ} = k_n (p_s - p_D) \frac{760}{H} \text{ (公斤/米}^2 \cdot \text{小时)} \quad (2.3-62)$$

式中 dW —— 蒸发水量(公斤)；

dZ —— 时间(小时)；

F —— 蒸发面积(米²)；

p_s —— 相当于水蒸发温度的饱和蒸汽压(毫米汞柱)；

p_D —— 外界空气的水蒸汽分压(毫米汞柱)；

H —— 外界大气压力(毫米汞柱)；

k_n —— 自由表面蒸发系数，系数大小决定于空气速度，可用下列经验公式计

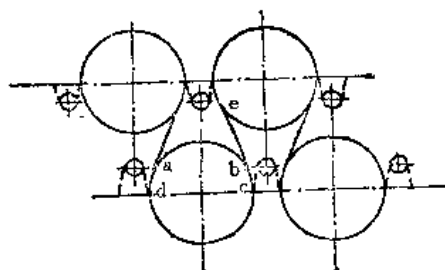


图 2-3-138 烘缸干燥区

算:

$$k_n = 0.0229 + 0.0174 v \quad (2-3-63)$$

式中 v ——蒸发表面上的空气速度(米/秒)。

因为纸机干燥时纸是不断地与烘缸接触, 并且还有干布的作用, 所以道尔登方程式只是定性地说明对流干燥, 并不能定量地决定纸的干燥速率。

纸机干燥部的主要干燥方式还是接触干燥。

纸的接触干燥过程可以分为升温、恒速和降速三个阶段。升温阶段时间很短, 纸的水分变化不大, 但湿纸的温度和干燥速率增长很快(参阅图 2-3-139)。恒速阶段通常占纸机全部干燥时间的 50~65%。在这一阶段中, 纸的温度和干燥速率基本不变。到了第一临界点 K_1 转入降速阶段。降速阶段又分两个分段, 第一分段(K_2 以前)的干燥速率几乎呈直线下降, 纸的温度降低, 到了降速阶段的第二分段(K_2 以后), 干燥速率锐减, 纸的温度又再回升, 纸的内外温度差趋近于零。

一般认为在恒速阶段中, 干燥去掉的是游离水, 降速阶段第一分段为毛细管水和结合水, 而在第二分段中则为结合水。

关于接触干燥各个阶段的脱水机理, 一般都还是引用对流干燥的原理加以解释, 即恒速阶段的干燥速率决定于外部扩散, 而降速阶段决定于内部扩散。前些时候有人应用染料研究了接触干燥的机理, 发现干燥过程中, 水分和染料在纸中的梯度如图 2-3-140 所示, 因此认为在恒速阶段, 湿纸接触烘缸一面首先吸热产生水的蒸发, 其蒸汽压力大

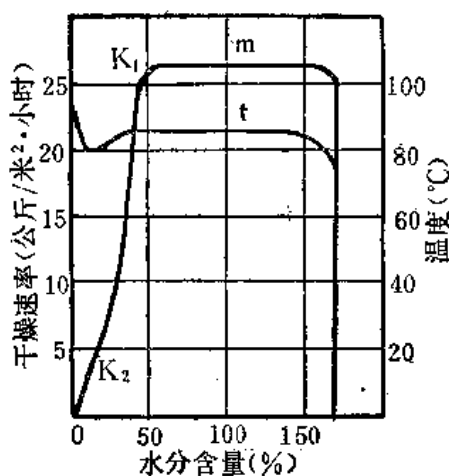


图 2-3-139 接触干燥过程曲线
 m —干燥速率 t —纸的温度 K_1, K_2 —第一、二临界点(烘缸表面温度为 100°C)

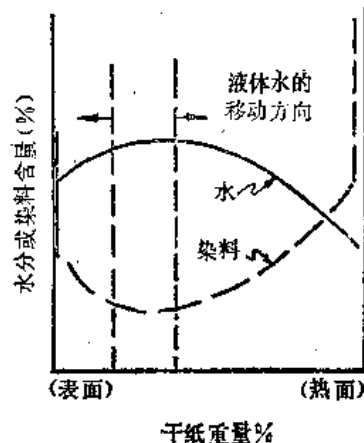


图 2-3-140 接触干燥机理

于纸中其他部位的平衡蒸汽压力, 由于存在有蒸汽压力差, 因而蒸汽向着湿纸的表面转移。蒸汽在转移过程中, 又在纸中发生冷凝。蒸汽冷凝释放出来的热量传给纸, 然后通过传导作用向低温方面流动。到了纸的表面, 一部分的热由对流作用传入空气中, 其余的则消耗在纸面水分的蒸发。

由于上述纸的两面同时产生蒸发(双面自由蒸发干燥), 因此这两面的液体水分随之减少, 纸中出现水分梯度, 从而水便分别向着纸的两面转移。干燥速率决定于传质和传

热的复杂平衡。

当纸的干燥继续到湿纸接触烘缸的一面变得太干，不能保证蒸发的稳定状态，这时，该区域内的温度降加大，传热速率降低。纸中其他部分的温度也随之下降。湿纸表面的蒸汽压力因而减小，结果造成干燥速率下降，使干燥过程进入降速阶段。这种临界水分含量主要与湿纸接触烘缸的含水量有关。

当湿纸接触烘缸一面的水分降到临界水分含量以下时，蒸发面开始内移，于是又继续在纸中产生温度的重新调整。降速阶段中，水的转移继续到蒸发面已经内移到最大含水量区域为止。这时纸的含水量已经很低，不可能再有任何液体水的网络，剩下来的水不可能再靠蒸发去掉，而是借助于蒸汽从纸内向外部扩散。

接触干燥的干燥速率：

$$\frac{dW}{F dZ} = \frac{U(t_{\pi} - t_b)}{\gamma} = \frac{U(t_{\pi} - t_b)}{i_{\pi} - i_c} \text{ (公斤水/米}^2 \cdot \text{小时)} \quad (2-3-64)$$

式中 F ——干燥面积，即湿纸与烘缸表面接触的面积(米²)；

U ——总传热系数(千卡/米²·小时·°C)；

t_{π} ——缸内加热蒸汽温度(°C)；

t_b ——缸面纸的温度(°C)；

γ ——蒸发水汽的热含量(千卡/公斤)；

i_{π} ——蒸汽的热含量(千卡/公斤蒸汽)；

i_c ——缸内排出的冷凝水热含量(千卡/公斤水)。

基于纸机干燥部干燥纸时，既有接触干燥，又有对流干燥，每个烘缸不仅有四个不同特性的干燥区，而且整个干燥部各个烘缸的温度也不相同；另外，干燥的纸还在不断地翻而与烘缸接触，所有这些原因都使得纸的干燥过程愈加复杂化，因此如要理论来分别计算各个烘缸的脱水量和干燥速率，不仅麻烦，而且也是有困难的，所以一般是以纸机干燥部作为一个整体来进行计算。

3. 传质机理

纸机干燥部的传质是以分子扩散、对流或湍流扩散和通风三种不同形式进行的。分子扩散是一种分子级的混合作用，它产生于没有大量流动而是层流状态的时候。在纸机中，干布包着烘缸的部分(即 bc 干燥区)，水蒸汽穿过干布和透过湍流界层的薄层，就是以分子扩散形式进行传质。对流扩散是一种大规模的湍流混合，它产生于传质时存在有湍流的情况，例如界面层的湍流部分或空气主体运动有湍流的时候。至于通风，则是由空气气流置换水蒸汽。分子扩散和对流扩散，分别类似于传热中的传导和对流，而通风只是一个流体流动的问题。

在多烘缸纸机中，通入烘缸的蒸汽冷凝放热，传给湿纸升高温度，提高湿纸中的蒸汽压力。采用比较干燥的空气通风，湿纸附近的空气中只有一个较低的蒸汽分压，由于水的蒸发和扩散之间存在有压力差，湿纸中的水汽便转入空气内。如图 2-3-141 所示，蒸发是发生在水-空气界面，其速度为 V_0 。由于分子扩散作用，水蒸汽流经层流薄层，其压力从界面的 P_0 降到层流薄层外边的 P_1 ，进一步再由分子扩散和对流扩散流过缓冲层，其压力再从 P_1 降到 P_2 ，最后由对流扩散作用流过湍流界层，蒸汽压力从 P_2 降到空气中

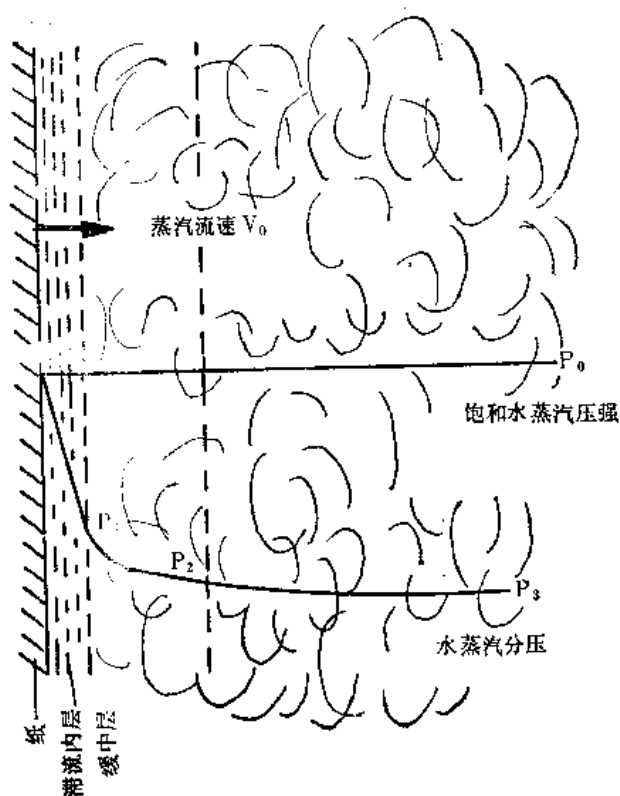


图 2-3-141 传质-水蒸汽转入空气中

是产生双面自由蒸发。可是因为没有热量供应给纸，纸在大量蒸发水的同时，本身温度下降，对应的蒸汽压力也又会减小了。

影响传质速率的因素很多，第一是纸的温度。在一般干燥的湿纸温度情况下，小量的温度改变能使蒸汽压力大为变化。提高通入烘缸的蒸汽压力，增加传给纸的热量，湿纸温度上升，结果传质速率增加了，也就提高了干燥能力。其次一个重要因素是湿纸周围空气的水蒸汽分压，为了便于湿纸水分的蒸发，空气中的水蒸汽分压必须低于湿纸的蒸汽压力。空气的水蒸汽分压愈低，烘缸干燥纸的速率愈高。实际情况中，空气的水蒸汽分压由干燥部通风决定。第三，干布是影响传质的又一因素。当干布开始将湿纸压到烘缸上的时候，它的温度不高，含水量不大，还有很好的透气性，这些对传质来说都是有利的条件。由于干布的气泵作用，还对烘缸气袋通风有一定好处，这也就是为什么现在干燥部使用开敞编织干布或改用透气度高的塑料网代替普通干布的道理。

在杨克纸机中，上述传质过程原理同样适用。但因湿纸是始终贴在大烘缸上的，没有在多烘缸中那样的升温、降温、再升温的循环过程，从而改善了传质过程。应用高速热风干燥还能从空气中供应给纸热量，自然可进一步提高烘缸的干燥效率。

4. 烘缸干燥的传热

根据化工原理可知，烘缸中蒸汽传给湿纸的总热量为：

$$Q = U(t_{\pi} - t_b)F \text{ (千卡/小时)} \quad (2-3-65)$$

式中 U ——总传热系数 (千卡/米²·小时·°C)；

t_{π} ——缸内蒸汽的饱和温度(°C)；

水蒸汽分压 P_3 。与传热中传导不同的是，因为缓冲层是一个从层流转变为湍流的过渡层，层间界面不能确切分清。缓冲层可能完全是层流或完全是湍流，也可能兼而有之，但就整体而论，可以认为在它的厚度上是由完全层流逐渐转变到完全湍流。

当湿纸被干布压在烘缸上的时候（即 bc 干燥区），传质受到阻碍。但在这一干燥区中，蒸发虽然受到阻碍，热量却是从烘缸高速度地大量供给湿纸，纸的温度和与之相应的蒸汽压力将会提高。一旦湿纸转到不被干布压住的部位（即 cd 干燥区），扩散的主要阻力解除了，不贴烘缸一面的蒸发大大增强。等到湿纸转到烘缸之间（即 de 干燥区），纸的两面都暴露在空气中，于是

t_b ——纸的平均温度($^{\circ}\text{C}$);

F ——烘缸有效干燥面积(米^2)。

而总传热系数又等于:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} (\text{千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (2-3-66)$$

式中 α_1 ——冷凝蒸汽对烘缸壁的传热系数($\alpha_1 = 10000$ 千卡/米 2 ·小时· $^{\circ}\text{C}$);

δ ——烘缸壁厚度(米);

λ ——烘缸壁的导热系数 ($\lambda_{\text{铸铁}} = 54$ 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$);

α_2 ——烘缸外壁对纸的传热系数($\alpha_2 = 90 \sim 500$ 千卡/米 2 ·小时· $^{\circ}\text{C}$)。

5. 干燥纸的热量消耗和蒸汽消耗量

(1) 干燥纸的热量和蒸汽消耗: 干燥一公斤纸的理论耗热量等于:

$$Q_{Tb} = Q_1 + Q_2 + Q_3 (\text{千卡/公斤纸}) \quad (2-3-67)$$

式中 Q_1 ——从一公斤风干纸中蒸发水分需要的热量:

$$Q_1 = \frac{C_2 - C_1}{C_1} (i' - C_{Wt1}) (\text{千卡/公斤纸}) \quad (2-3-68)$$

Q_2 ——提高一公斤风干纸中绝干纤维到蒸发温度需要的热量:

$$Q_2 = \frac{C_2}{100} C_2 (t_2 - t_1) (\text{千卡/公斤纸}) \quad (2-3-69)$$

Q_3 ——提高一公斤风干纸中水分到蒸发温度需要的热量:

$$Q_3 = \left(1 - \frac{C_2}{100}\right) C_W (t_2 - t_1) (\text{千卡/公斤纸}) \quad (2-3-70)$$

C_1, C_2 ——纸页进、出干燥部的干度(%);

t_1, t_2 ——纸页进、出干燥部的温度($^{\circ}\text{C}$);

C_W, C_c ——水和纤维的比热($C_W = 1, C_c = 0.34$ 千卡/公斤· $^{\circ}\text{C}$);

i' ——平均干燥温度的饱和蒸汽热含量(千卡/公斤)。

纸的平均干燥温度一般为 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。对包装纸来说,如果烘缸蒸汽压力用到 $7.85 \sim 9.8 \times 10^5$ 牛顿/米 2 ($8 \sim 10$ 公斤/厘米 2), 平均干燥温度可达 95°C 左右。

干燥纸时,绝大部分的热量(可达 95%)是消耗在蒸发纸中的水分。

干燥纸的实际耗热量等于理论耗热量与热损失(Q_L)之和。热损失包括干纸和干布烘缸两端缸盖、未被纸或干布盖着的裸露缸面、纸和干布在两缸之间等部分热量损失的总和。上述热损失有一部分起到加热造纸车间空气的作用,因而可以减少车间采暖通风需要的热量。

故实际耗热量:

$$Q_{pr} = Q_{Tb} + Q_L \quad (2-3-71)$$

干燥部的干燥热效率

$$\eta = Q_{Tb} / Q_{pr} \quad (2-3-72)$$

干燥部的热效率,决定于纸机烘缸排列和构造、干燥部的通风和进出干燥部的纸页干度等,一般为 $0.65 \sim 0.75$ 。抄浆机纸板机和单烘缸纸机的干燥热效率则可达 $0.8 \sim$

0.9。

因此，干燥一公斤风干纸消耗蒸汽量为：

$$D = \frac{Q_{pr}}{i_a - i_c} \text{ (公斤蒸汽/公斤纸)} \quad (2-3-73)$$

式中 i_a ——进入烘缸蒸汽的热含量(千卡/公斤蒸汽)；

i_c ——烘缸排出冷凝水的热含量(千卡/公斤蒸汽)。

干燥纸的蒸汽消耗量决定于加热蒸汽参数、干燥后纸的干度和干燥热效率。通常为 2.5~4.0 公斤蒸汽/公斤纸。生产薄纸(如电容器纸、卷烟纸等)时由于干燥热效率比较低，故蒸汽消耗量高到 5~6 公斤蒸汽/公斤纸。

干布烘缸的蒸汽消耗量为干燥部总消耗量的 15~20%(毛毯)和 7~10%(帆布)。

(2) 通汽方式与干燥耗热量：纸机干燥部根据纸机生产能力、生产纸的种类和烘缸干燥曲线，应用有两种不同的通汽方式，即无蒸汽循环的单独通汽和有蒸汽循环的分段通汽。一般低速窄纸机(产量在 30~40 吨/日以下的)多采用单独通汽或两段通汽，而生产能力大的纸机多用多段通汽。

单独通汽方式如图 2-3-142 所示。蒸汽由总汽管分别引进各个烘缸，冷凝水通过排水阻汽阀沿总排水管排出，收集在槽内再用泵送回锅炉房，这样可以利用冷凝水中大量的热能，同时不需净水处理。单独通汽法有很多缺点，第一是没有蒸汽循环，空气逐渐

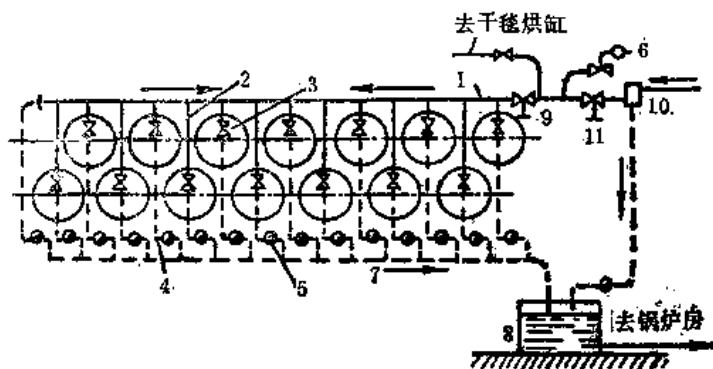


图 2-3-142 单独通汽

1—总汽管 2—进汽管 3—调节阀 4—排水管 5—排水阻汽阀 6—安全阀 7—总排水管 8—收集槽 9—总汽管调节阀 10—汽水分离器 11—调节阀

在烘缸内积蓄起来，必须定期打开烘缸的排气阀排放空气。第二，由于排水阻汽阀数目很多，需要经常注意管理和维修。第三，当排水阻汽阀发生故障时，将会引起蒸汽的损失，或使冷凝水充满整个烘缸，大大降低蒸发能力。

分段通汽是依靠各段烘缸之间的压力差，或者借助于连接在最后一段烘缸(按蒸汽流向而论)的真空泵造成负压进行。

在有蒸汽循环的通汽方式中，干燥部接通汽可分为 3~5 段，各段通入蒸汽的压力由 $2.95 \sim 7.85 \times 10^5$ 牛顿/米² (3~8 公斤/厘米²) 递减到 $1.96 \sim 7.85 \times 10^4$ 牛顿/米² (0.2~0.8 公斤/厘米²)。现以一烘缸数目为 48 个的纸机为例(图 2-3-143)说明如下：

各段烘缸数目分配为：第一段(从接近压光机一端算起)烘缸占总缸数的 60~

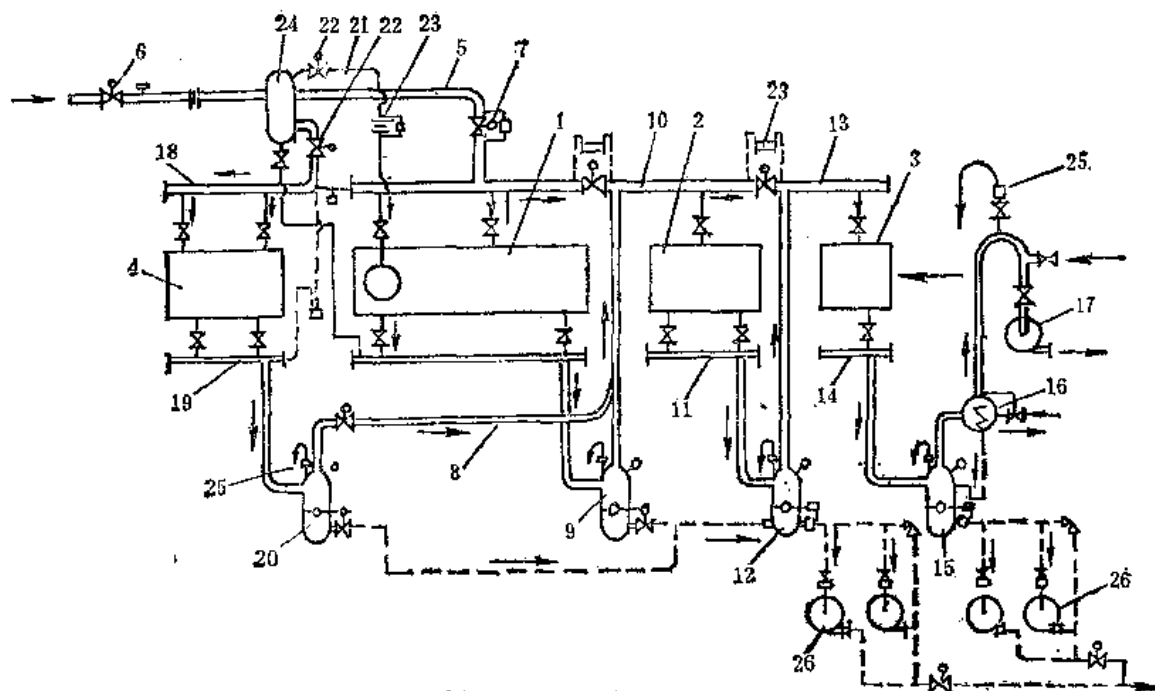


图 2-3-143 分段通汽

- 1—第一段烘缸 2—第二段烘缸 3—第三段烘缸 4—干布烘缸 5—蒸汽主管 6—主阀 7—第一段蒸汽收集器 8—第一段冷凝水收集器 9—第一段汽水分离器 10—第二段蒸汽收集器 11—第二段冷凝水收集器 12—第二段汽水分离器 13—第三段蒸汽收集器 14—第三段冷凝水收集器 15—第三段汽水分离器 16—冷凝水冷却器 17—排除空气和不凝气体的真空泵 18—干布烘缸蒸汽收集器 19—干布烘缸冷凝水收集器 20—干布烘缸汽水分离器 21—领纸烘缸的进汽管 22—压力调节器 23—压差测量器 24—蒸汽主管上的汽水分离器 25—恒温汽水分离器 26—冷凝水泵

75%，第二段为 20~35%，第三段只有 2~4 个烘缸。通汽方法是首先将生蒸汽通入第一段烘缸，没有冷凝的蒸汽连同冷凝水一同进入本段专用的汽水分离器，分离出来的冷凝水用泵送走，而原来未冷凝的蒸汽和汽水分离器中热凝水产生的二次蒸汽则引入第二段烘缸作为加热干燥纸张之用。第二段烘缸未用了的蒸汽和冷凝水，同样也经过专用的汽水分离器又引入第三段。最后一段出来的蒸汽和冷凝水同样经过汽水分离器处理。为了加强干燥部加热蒸汽的循环，却将未冷凝的蒸汽与二次蒸汽引到一连着真空泵的冷凝器（如管式冷凝器）中加以冷却，冷凝下来的水混入汽水分离器的冷凝水中一齐用泵送到动力车间，至于不凝气体则用真空泵抽走。真空度的大小，由真空泵吸气管上的阀门加以控制。各段烘缸之间的压力差，根据烘缸冷凝水排出法和车速决定，可按烘缸干燥曲线的要求应用气动式或隔膜式阀门自动调节。为了冷凝水的正常排出，各段之间的压力差不小于 2.95×10^4 牛顿/米² (0.3 公斤/厘米²)。

如果从第一段引入第二段的蒸汽数量不能满足干燥纸的需要，可以加大通入第一段烘缸的生蒸汽量，或者直接将生蒸汽补充加入第二段烘缸。

有蒸汽循环的分段通汽既可保证烘缸温度逐渐上升，使干燥曲线稳定，同时由于蒸汽循环和排除了烘缸内的冷凝水和空气，又保证了整个烘缸温度均匀，并且大大增加了总传热系数，提高了烘缸的干燥效率。另一方面，从 (2-3-73) 式可以看出，分段通汽

时，由于各段烘缸的蒸汽压力逐渐降低， i_c 减小，因而可以节省干燥纸时的蒸汽消耗量。所以，上述的蒸汽循环分段通汽方式，对于保证质量和节约蒸汽消耗，都起到良好效果。

关于分段通汽时干燥纸的热量消耗，可按下述热衡标原理加以计算。

今以一公斤风干纸作为基准，并以三段通汽为例。进入第一段的绝干纤维含量为 $\frac{C_2}{100}$ 公斤，含水量为 $\frac{C_2(100-C_1)}{100 C_1}$ 公斤，故纸入干燥部时的热含量：

$$Q'_1 = \frac{C_2}{100} C_c t_1 + \frac{C_2(100-C_1)}{100 C_1} C_w t_1 \text{ (千卡/公斤)} \quad (2-3-74)$$

经过第一段烘缸干燥后，从纸中蒸发去掉水分的热含量与遗留在纸中绝干纤维和水分的总热量为：

$$Q''_1 = \frac{(C'-C_1)C_2}{C' C_1} i'_1 + \frac{C_2}{100} C_c t' + \frac{C_2(100-C')}{100 C'} C_w t' \text{ (千卡/公斤)} \quad (2-3-75)$$

因此，第一段烘缸中的理论耗热量为：

$$Q_1 = Q''_1 - Q'_1 = \frac{(C'-C_1)C_2}{C' C_1} i'_1 + \frac{C_2}{100} C_c t' + \frac{C_2(100-C')}{100 C'} C_w t' - \frac{C_2}{100} C_c t_1 - \frac{C_2(100-C_1)}{100 C_1} C_w t_1 \text{ (千卡/公斤)} \quad (2-3-76)$$

同理，第二段烘缸中的理论耗热量：

$$Q_2 = \frac{(C''-C')C_2}{C' C''} i'_2 + \frac{C_2}{100} C_c (t''-t') + \frac{C_2}{100} C_w \left[\frac{(100-C'')t''}{C''} - \frac{(100-C')t'}{C'} \right] \text{ (千卡/公斤)} \quad (2-3-77)$$

第三段烘缸的理论耗热量：

$$Q_3 = \frac{(C_2-C'')C_2}{C''} i'_3 + \frac{C_2}{100} C_c (t_2-t'') + \frac{C_2}{100} C_w \left[\frac{(100-C_2)t_2}{C_2} - \frac{(100-C'')t''}{C''} \right] \text{ (千卡/公斤)} \quad (2-3-78)$$

上列各式中 C_1, C_2 ——进、出干燥部纸的干度(%)；

C', C'' ——出干燥部第一、二段烘缸纸的干度(%)；

t_1, t_2 ——进、出干燥部纸的温度(°C)；

t', t'' ——出第一、二段烘缸纸的温度(°C)；

i'_1, i'_2, i'_3 ——第一、二、三段烘缸平均干燥温度的饱和蒸汽热含量(千卡/公斤)。

6. 烘缸面积、烘缸数目和烘缸部的出力

干燥纸需要的烘缸干燥面积，一般是按单位出力法计算。这里所说的单位出力指每米²有效烘缸面积每小时能够蒸发水的公斤数。

干燥部需要的烘缸干燥有效面积为：

$$F = \frac{GW}{m} = \frac{G}{m} \times \frac{C_2 - C_1}{C_1} \text{ (米}^2\text{)} \quad (2-3-79)$$

式中 G ——纸机每小时生产能力(公斤纸/小时);

W ——每生产 1 公斤纸所蒸发的水量(公斤水/公斤纸);

m ——烘缸单位出力(公斤水/小时·米²有效面积)。

如每个烘缸的有效面积为 F_{π} (米²), 则干燥需要的烘缸数目应为:

$$n = \frac{F}{F_{\pi}} = \frac{GW}{mF_{\pi}} \text{ (个)} \quad (2-3-80)$$

而纸机每小时生产能力:

$$G = 0.06 v b q \text{ (公斤纸/小时)} \quad (2-3-81)$$

式中 v ——纸机车速(米/分);

b ——卷纸机上未切边的纸宽(米);

q ——纸的定量(克/米²)。

每个烘缸的有效干燥面积为:

$$F_{\pi} = \pi D b \frac{\alpha}{360} \text{ (米}^2\text{)} \quad (2-3-82)$$

式中 D ——烘缸直径(米);

α ——烘缸被纸包住的角度 (通常 $\alpha = 225 \sim 235^\circ$)。

故干燥部应有的烘缸数目:

$$n = \frac{GW}{mF_{\pi}} = \frac{21.6 v q W}{\pi \alpha m D} \text{ (个)} \quad (2-3-83)$$

烘缸的单位出力受到许多因素的影响, 其中重要的有纸机类型、生产纸种、蒸汽压力、干燥温度、干布材料和张力、干布烘缸数目及其排列以及干燥部通风强度等等。

一般大直径单烘缸纸机(俗称杨克纸机), 烘缸干燥出力最高可达 50~60 公斤水/米²·小时, 多烘缸纸机一般为 11~20 公斤水/米²·小时, 应用热风罩的单网单缸纸机甚至高到 113 公斤水/米²·小时。

至于生产纸种的影响, 兹选几种纸作为例子说明如下:

纸种	电容器纸	卷烟纸	透明纸	新闻纸	水泥袋纸	单面光纸
单位出力	3~7	10~12	8~10	20~22	22~32	20~40

干布烘缸需要的面积, 通常为干纸烘缸总面积的 30~35%。

(四) 烘缸及冷凝水的排除

1. 干纸烘缸与干布烘缸

干纸烘缸是用铸铁浇铸成的两端有盖的圆筒体, 现在因为加热蒸汽压力的提高, 当蒸汽压力超过 4.9×10^5 牛顿/米² (5 公斤/厘米²) 时, 则多用钢质烘缸。普通烘缸(图 2-3-144) 均为单层, 钢质的尚有一种夹层烘缸(图 2-3-145)。

普通铸铁烘缸采用铸铁的组成为: $C = 3.15 \sim 3.6\%$, $Mn = 0.75 \sim 1.1\%$, $Si = 1.3 \sim 1.7\%$, $S \leq 0.6\%$, $P \leq 0.3\%$ (如能加入少量的铬或镍更好), 假如使用蒸汽压力较高, 宜用变性铸铁。

铸造烘缸时, 铸件不许有裂缝、砂眼和其他缺陷。烘缸铸成后, 内外抛光, 使其厚度均匀一致, 保证均匀传热。烘缸表面硬度为 170~220° (布氏硬度), 经过磨光使缸面

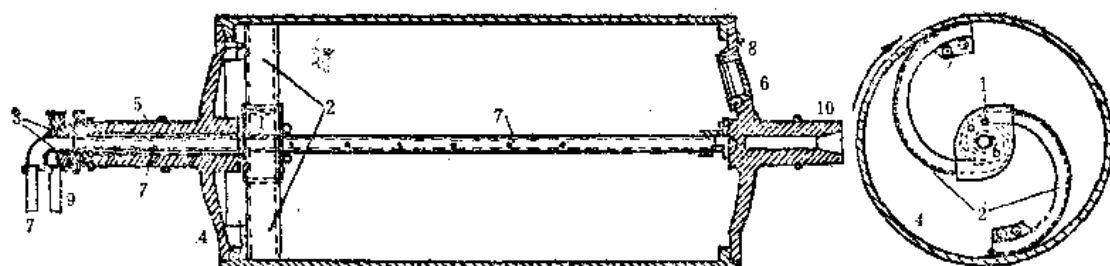


图 2-3-144 普通烘缸

1—集水室 2—汲管 3—接头 4—烘缸头 5—轴颈 6—人孔 7—进蒸汽管及口
8—排气口 9—冷凝水排出管

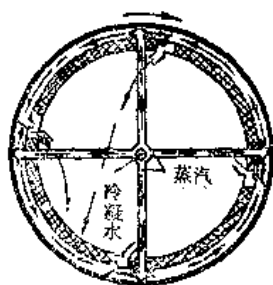


图 2-3-145 夹层烘缸

有很高的平滑度(表面呈镜面)。烘缸外径公差应小于 0.5 毫米, 锥度许可偏差不大于 0.5 毫米。纸机车速在 350 米/分以下, 烘缸只需静平衡, 许可的不平衡重量为烘缸重量的 0.03%, 如车速大于 350 米/分, 则烘缸还须保持动平衡。

一般烘缸直径有若干种, 我国三化系列规定为: 0.8、1.0、1.25 和 1.5 米四种, 国外纸机尚有 1.25 和 1.8 米等规格。单面光纸机和自动揭纸纸机的烘缸直径较大, 通常为 2~5 米。目前全世界最大的烘缸, 直径达 6.15 米, 面宽 6.18 米。

烘缸宽度必须保证缸内蒸汽加热部分的长度 (b_1) 大于进干燥部的湿纸宽度。要求为:

$$b_1 = \frac{(b + 2C)}{100 - \varepsilon_2} \times 100 (\text{毫米}) \quad (2-3-84)$$

式中 b ——进干燥部的湿纸宽度(毫米);

C ——纸的切边宽度(一般为 20~25 毫米);

ε_2 ——纸在干燥部的横向收缩率(%)。

通常烘缸宽度比进入干燥部的湿纸宽 70~130 毫米。

烘缸缸壁厚度可按耐压薄壁容器公式计算:

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]} + C \quad (2-3-85)$$

式中 P ——工作蒸汽压力(一般不超过 3.0~3.5 公斤/厘米²);

D ——烘缸直径(厘米);

$[\sigma]$ ——烘缸材料的许用应力(铸铁为 200 公斤/厘米²);

C ——附加数 ($C=1\sim6$ 毫米)。

烘缸必须保证能受 $5.9\sim 8.8 \times 10^5$ 牛顿/米² (6~9 公斤/厘米²) 水压试验。

烘缸的实际厚度略大于理论计算值:

烘缸直径(毫米)	1000	1250	1500	1800	2500	3000	4000	5000
壁厚(毫米)	20	22.5	25	28	35	38	48	58

烘缸进汽管伸入缸内距离缸盖 0.8~1.0 米, 周围和顶端均钻有眼孔, 以便均匀分

布蒸汽加热烘缸。进汽管直径可按蒸汽在管内的流速 $v=25$ 米/秒 计算。

干纸烘缸普通是按上下两层交错排列。生产薄纸（如电容器纸、卷烟纸、等）的纸机，前面两个烘缸（有时还多一些）通常都是同时装在下层，其余烘缸仍然分为上、下两层，其目的是便于引过强度还不够大的湿纸，避免断头。但也有成双排列的，即一、二两个烘缸排在下层，三、四两个烘缸排在上层。纸板机的烘缸数目很多，有采用多层（5~6 层）排列的，以便缩短干燥部的长度，减少厂房占地面积，但有增加厂房高度和生产上引纸不便的缺点。

干布烘缸的构造基本上与干纸烘缸相同。烘缸直径在一般旧式纸机比较小些，多用直径为 0.7~1.0 米的烘缸。

干布烘缸由干布带动。干布包角达 $300\sim320^\circ$ 。干布经过烘缸加热以后，温度提高 $12\sim18^\circ\text{C}$ ，达到 $75\sim90^\circ\text{C}$ 温度。

近年干布多用热空气（ $90\sim100^\circ\text{C}$ ）干燥。图 2-3-146 表示一千布干燥辊，辊径为 1.0~1.5 米空心圆筒，壁上钻有 20~25 毫米直径的眼孔，筒内装有加压室，室中 $3.92\sim4.90\times10^3$ 牛顿/米²（0.04~0.05 公斤/厘米²）压力的热风，通过眼孔穿透干布使之干燥。

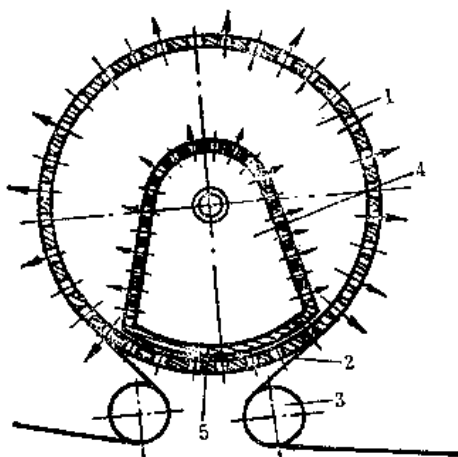


图 2-3-146 毛布干燥辊
1—圆筒 2—干布 3—干布辊
4—加压室 5—隔风板

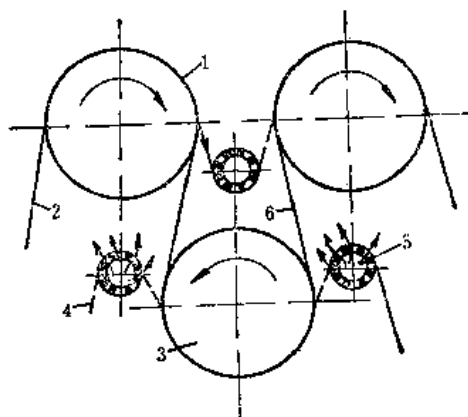


图 2-3-147 毛布干燥辊
1—上层烘缸 2—上干布 3—下层烘缸
4—下干布 5—干燥辊 6—纸幅

图 2-3-147 表示另一种干布干燥辊，安装在烘缸之间代替干布辊。干燥辊吹出温度 $90\sim100^\circ\text{C}$ 、压力为 40 毫米水柱的热风干燥干布。

干布的干燥对干燥部的正常工作有极重要的影响。加强干布的干燥，可以使纸机烘缸部生产能力提高 10~20%。

2. 冷凝水的排除

（1）水环的形成：烘缸内冷凝水连续、均匀地排出，是保证纸机干燥部正常生产的重要条件之一。以往认为凝水只是聚积在缸内下部。经过研究证明，随着纸机车速的增加，凝水向着烘缸转动的一边上移，车速再高，则在缸内形成水环，随着烘缸一齐迴转（或略滞后于烘缸），水环愈积愈厚，到了临界厚度，最终水环破裂。由于烘缸内部水环的形成和破裂，引起烘缸传动电动机负荷的变化（图 2-3-148）。

水环的形成决定于缸内凝水数量、水的粘度、烘缸直径和缸壁粗糙度等。形成水环的临界速度为：

$$v_c = B_0 \frac{\sqrt[3]{V_1^2}}{\sqrt{\gamma}} \times \frac{\sqrt[4]{\gamma^4 g^7}}{\mu^4} + \sqrt{g r_{\pi}} \quad (\text{米/秒}) \quad (2-3-36)$$

式中 B_0 ——系数；

V_1 ——烘缸单位宽度的凝水数量(米³)；

γ ——水的比重(公斤/米³)；

g ——重力加速度(米/秒²)；

μ ——水的粘度(公斤·秒/米²)；

r ——烘缸内径(米)；

r_{π} ——缸内液面半径(米)；

$\sqrt{g r_{\pi}}$ ——水环表面线速(米/秒)。

车速愈高，缸径愈小，则水环愈厚。图 2-3-149 表明水环厚度、烘缸直径与纸机车速三者之间的关系(冷凝水温度为 110℃)。从图 2-3-149 可以看出，当车速为 400 米/分时，缸内凝水数量较少就能产生水环，水环的厚度不大，仅 3.8 毫米。以后水环逐渐加厚，最后增加到临界厚度(18.6 毫米)，再多则又破裂。

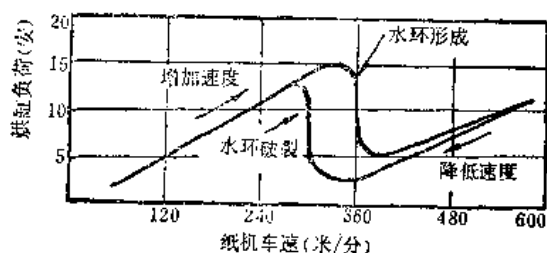


图 2-3-148 水环形成和破裂对烘缸传动电动机负荷的影响

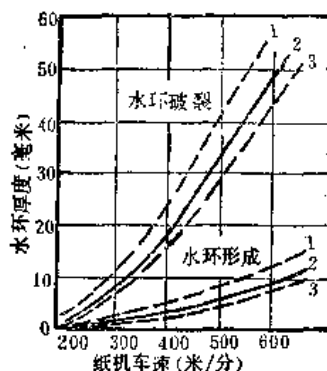


图 2-3-149 在不同烘缸直径、水环厚度与纸机车速的关系。

1—直径 1 米 2—直径 1.5 米 3—直径 1.8 米

因此，如不采取有效的办法及时排出缸内的凝水，则当烘缸直径为 1.5 米、车速为 200 米/分时，水环厚为 1.2 毫米；车速为 300 米/分时，可达 8 毫米，400 米/分为 18.6 毫米；500 米/分为 32.4 毫米；而 600 米/分更高，达 49 毫米。

可见车速低时，水环的临界厚度较小，因而水环容易破裂。车速越高，水环越厚。如果不能将凝水及时排出缸外，将会大大影响蒸汽对烘缸内壁的传热，等到水环破裂，又会满满地装在烘缸下部，占据了大部分的有效干燥面积，同样也会引起下层烘缸传热的恶化。

(2) 冷凝水的排除：排除烘缸冷凝水的方法主要有汲管和虹吸管两种。

图 2-3 144 为一汲管排水装置。排水汲管装在烘缸内部，可以随着烘缸转动将缸内的水舀出，经过轴头和进汽管之间的环隙排出缸外。

一般烘缸多采用双汲管，烘缸每转一周，排水两次。

图 2-3-150 表示一固定虹吸管排水装置。虹吸管一端固定在壳体上，另一端伸入缸内，虹吸管的弯下部分与传动边缸盖距离为 300 毫米，管口装有平头管帽，管帽与缸壁距离为 2~3 毫米。虹吸管位置偏向烘缸转动方向一边约 $15\sim 20^\circ$ ，偏角大小决定于缸内凝水数量。

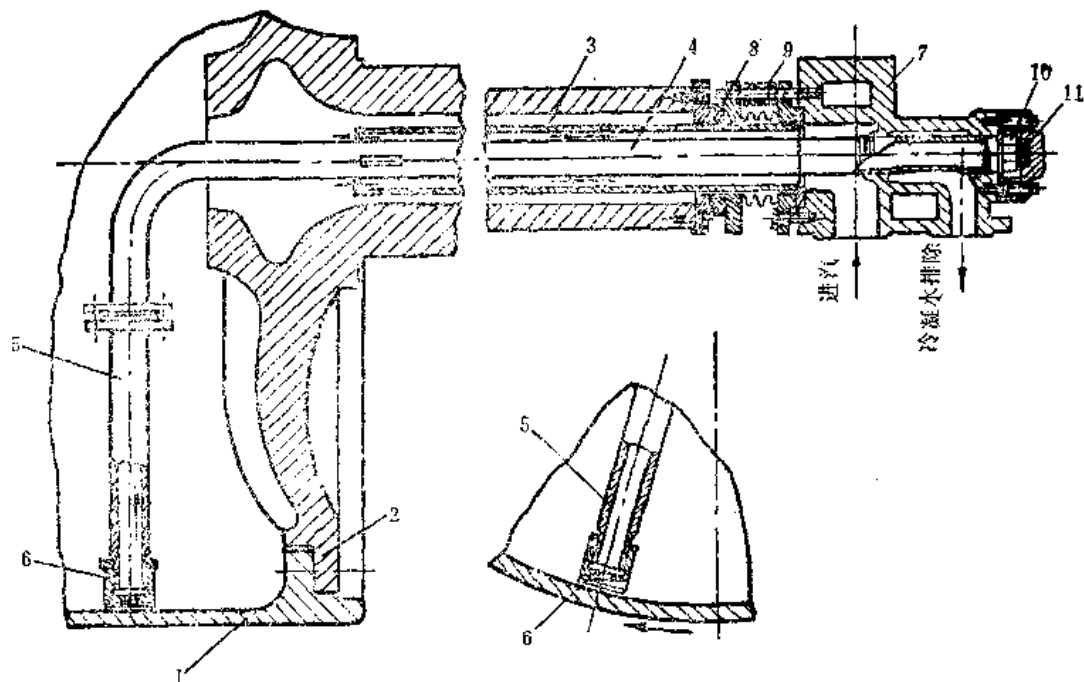


图 2-3-150 固定虹吸管

1—烘缸 2—传动边缸盖 3—进汽管 4—虹吸管弯曲部 5—虹吸管垂直部 6—管帽 7—填料函 8—石墨圈 9—弹簧 10—固定虹吸管的螺帽 11—调节虹吸管位置的方头 12—皱折管

虹吸管是利用缸内蒸汽压力将冷凝水压入管内排出，因此缸内和冷凝水管中的压力差不得小于 $1.96\sim 2.04\times 10^4$ 牛顿/米² ($0.2\sim 0.3$ 公斤/厘米²)。如果压力差太小(例如接近压榨部的烘缸)，则须借助于真空泵排水。

上述两种排水装置都只适用车速不大于 250~300 米/分的低速纸机，因为在这种车速情况下，缸内凝水尚未形成水环，大多是聚积在烘缸下部，利用汲管和虹吸管可以不断地将它排出缸外。

如果纸机车速超过 300~400 米/分，缸内凝水业已形成水环，则须使用活动虹吸管排水(图 2-3-151)。这种排水装置在构造上基本与固定式相同，但虹吸管是固定在烘缸内部随着烘缸一起旋转。

烘缸内冷凝水无论是呈水环或聚积在下部，活动虹吸管都可以把它排出来。前一种情况，利用虹吸和喷射原理排水；后一种情况的排水与汲管相同。应用活动虹吸管后，缸内冷凝水层厚度不超过 0.8 毫米。

为了排除缸内冷凝水，烘缸和冷凝水管内必须有一定压差，压差大小决定于排水装置型式、纸机车速、缸内冷凝水状态(水环或集中在烘缸下部)。

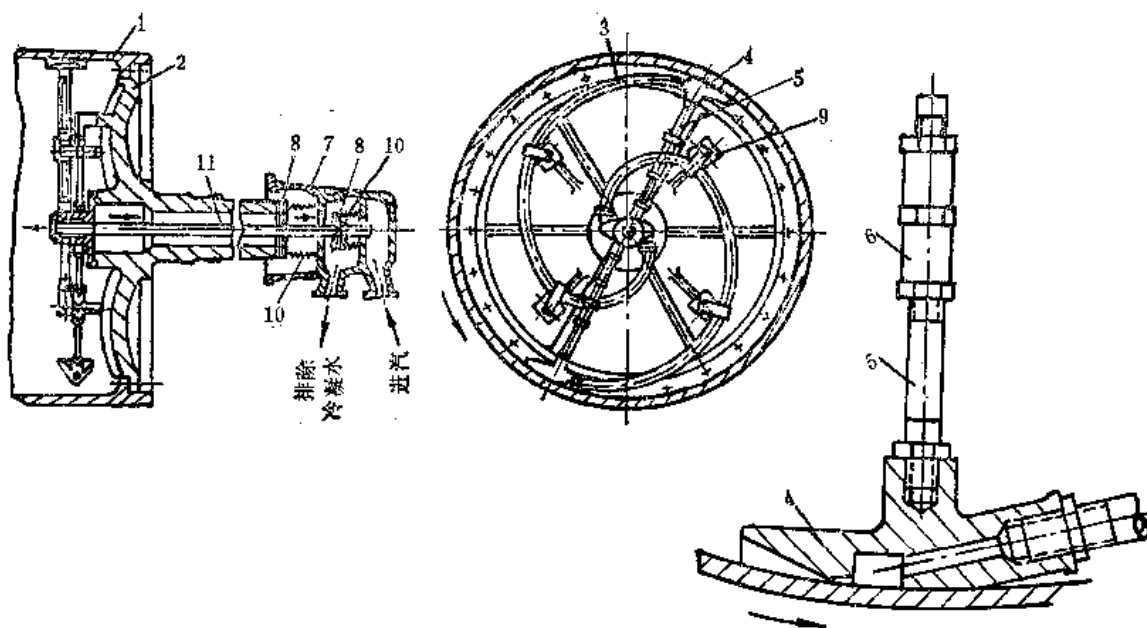


图 2-3-151 活动虹吸管

1—烘缸 2—传动边烘缸盖 3—旋转虹吸管 4—虹吸管头 5—调节管头与缸壁间隙的支杆 6—调节螺母 7—进汽头壳 8—石墨环 9—虹吸管固定架 10—波纹管 11—进汽管

当排水装置为固定虹吸管、纸机车速不高、冷凝水聚积在烘缸下部时，排水需要的压差可按伯氏方程式计算。如不考虑虹吸管内的压力损失，则压差为：

$$p = \gamma_{cm} R \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (2-3-87)$$

式中 γ_{cm} —冷凝水和夹带蒸汽混合体的重度(公斤/厘米³)；

R ——冷凝水由缸底部升到烘缸中轴线的高度，约等于烘缸半径(厘米)。

$$\text{而} \quad \gamma_{cm} = \frac{D_c \gamma_c + D_s \gamma_s}{D_c + D_s} \text{ (公斤/厘米}^3\text{)} \quad (2-3-88)$$

式中， D_c, D_s ——冷凝水和夹带蒸汽的消耗量(公斤/小时)；

γ_c, γ_s ——冷凝水与蒸汽的重度(公斤/厘米³)。

由于 R 为一常数，故排水需要的压差决定于 γ_{cm} 。通常排水压差不大，只是 $4.90 \sim 7.84 \times 10^3$ 牛顿/米² (0.05~0.08 公斤/厘米²)。

其次，当排水装置为固定虹吸管车速较高、凝水在缸内已成水环时，凝水的线速 v_k 接近于烘缸线速，因而冷凝水产生速度压头，通过固定虹吸管压出到烘缸之外，这时排水需要的压差为：

$$p = \gamma_{cm} \left(R - \frac{v_k^2}{2g} \right) \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (2-3-89)$$

如果 $R - \frac{v_k^2}{2g} = 0$ ，即临界速度 $v_k = \sqrt{2gR}$ 时，冷凝水的速度压头本身就可以将它升举到高度 R 。设 $R = 75$ 厘米，临界速度 $v_k = \sqrt{2gR} = \sqrt{2 \times 981 \times 75} = 385$ 厘米/秒 = 230 米/分。

如 $\frac{v_k^2}{2g} > R$ ，这时称为负压差。在负压差情况下，烘缸内的冷凝水不须加压即可

自动流出，破坏了有蒸汽循环分段通汽中的原定压差。所以在每个烘缸的冷凝水管线中，应当装有回水垫圈，加大凝水流动阻力，从而降低它进入汽水分离器时的压力。

最后，当排水装置为活动虹吸管、车速高冷凝水在缸内已成水环时，虹吸管与冷凝水环都随同烘缸一齐旋转，因此两者之间的相对速度为零。旋转冷凝水的动能不能造成排除凝水的速度压头。如与固定虹吸管比较，活动虹吸管由于必须克服冷凝水的重力和离心力，排除冷凝水时需要压差为：

$$p = \gamma \left(R + \frac{v^2}{2g} \right) \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (2-3-90)$$

根据上述(2-3-87)和(2-3-90)式计算出排水压差，还应添加汽水混合体流过虹吸管的阻力：

$$p_1 = \gamma(1 + \varepsilon) \frac{v_M^2}{2g} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (2-3-91)$$

式中 v_M ——虹吸管中汽水混合体的流动速度(厘米/秒)；

ε ——虹吸管、填料函等的阻力系数。

p_1 决定于凝水流速和填料函的构造，一般是 0.1~0.3 公斤/厘米²。

现在用在高速纸机中的还有一种夹层烘缸(图 2-3-145)。夹层烘缸是用特种大型钢管或用钢板焊成，加热蒸汽压力超过 4.9×10^5 牛顿/米²(5 公斤/厘米²) 时壁厚为 6~15 毫米。加热蒸汽以很高的速度通入夹层烘缸的环隙内。这种烘缸由于蒸汽速度高，避免或减小了空气和不凝气体薄膜的生成，大大地提高了蒸汽对缸壁的传热系数。但是夹层烘缸构造比较复杂，所以还未普遍应用。

(五) 烘缸干燥曲线

一般采用干燥温度曲线的形状为开始逐渐上升，然后平直，最后稍有下降(图 2-3-152)。最初 1~3 个烘缸(有时到第四个烘缸)的温度，根据纸种不同，温度应逐渐从 40~60° 升高到 80~100°C。

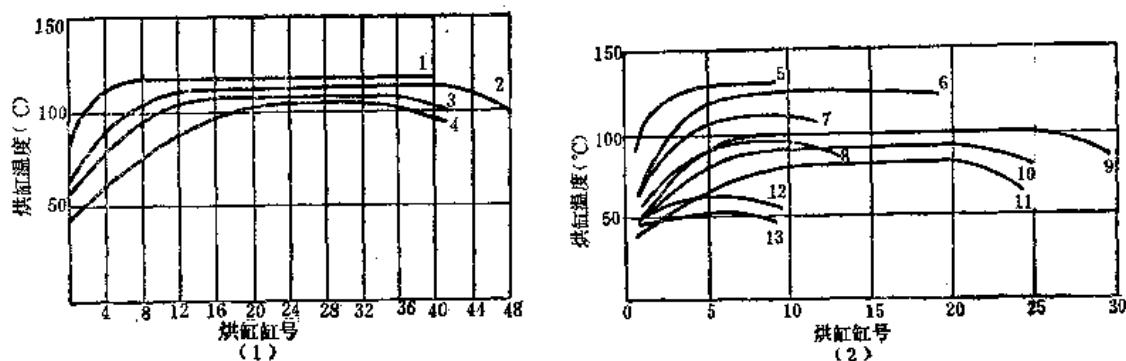


图 2-3-152 各种纸的干燥曲线

(1) 大型纸机 (2) 中、小型纸机

1—瓦楞纸板 2—新闻纸 3—1°书写纸 4—2°印刷纸 5—纸袋纸 6—烟嘴纸 7—铜版原纸 8—仿羊皮纸 9—胶版印刷纸 10—电缆纸 11—电话线纸 12—12 克/米²电容器纸 13—10 克/米²电容器纸

对于大多数的纸来说，烘缸表面温度最高为 110~115°C，对于高级纸和技术用纸，温度应稍低一些，为 80~100°C。然后保持最高温度，直至干燥部末尾二、三个烘缸，

温度下降 $10\sim 20^{\circ}$ 左右。因为最后纸的水分已经很低，烘缸温度再高，有损纸的质量。但对 100% 硫酸盐浆生产的纸(如袋纸等)，干燥部末端的烘缸温度也不下降。

干燥初期如升温过高、过快、纸中产生大量蒸汽，致使纸质疏松，气孔率高，皱缩加大，并且降低纸的强度和施胶度。

生产不施胶或轻微施胶而又是游离浆料的纸，烘缸温度可以比较快地升高；反之，如生产大量施胶而又紧密的纸，则温度宜缓慢上升。施胶纸干燥时，当纸的干度还未提高到 50% 以前，烘缸温度不宜超过 $85\sim 95^{\circ}\text{C}$ ，以免影响施胶效果。假如前几个烘缸的温度升得太快，则施胶效果不良，而且还有粘缸的毛病。原因是这时纸中的水分还很多，熔融的松香胶料粒子容易凝聚，降低了分散度，因而造成纸的憎水性下降。

图2-3-152表示十三种纸的干燥曲线。可见游离状未漂硫酸盐浆生产的纸(如纸袋纸)，烘缸温度最高，达到 $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ ，升温曲线最陡。含大量机木浆的纸(新闻纸、 $2^{\#}$ 印刷纸、烟嘴纸等)和游离状化学浆生产的轻微施胶纸，烘缸温度次之。烘缸温度最低的是高级书写纸、透明纸等，尤其是薄型电容器纸。这类纸的干燥曲线升温也应比较缓慢。

(六) 冷缸

烘缸部干燥以后的纸含水量为 $4\sim 6\%$ ，温度为 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，首先须要经过冷缸，然后才进压光机压光。

冷缸的作用一方面是降低纸的温度(从 $70\sim 90^{\circ}$ 降到 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$)，同时依靠外界空气冷凝在缸面上的水，提高纸的含水量(通常可增加 $1.5\sim 2.5\%$ 含水量)，增加纸的塑性，通过压光机可提高纸的紧度和平滑度，并且减少纸的静电。

为了冷却纸的两面，一般是在干燥部的最后装有两个冷缸(上下层各一个)，但也有只在上层装一个冷缸的，冷却网面和提高网面的含水量，另一面则用通水的弹簧辊冷

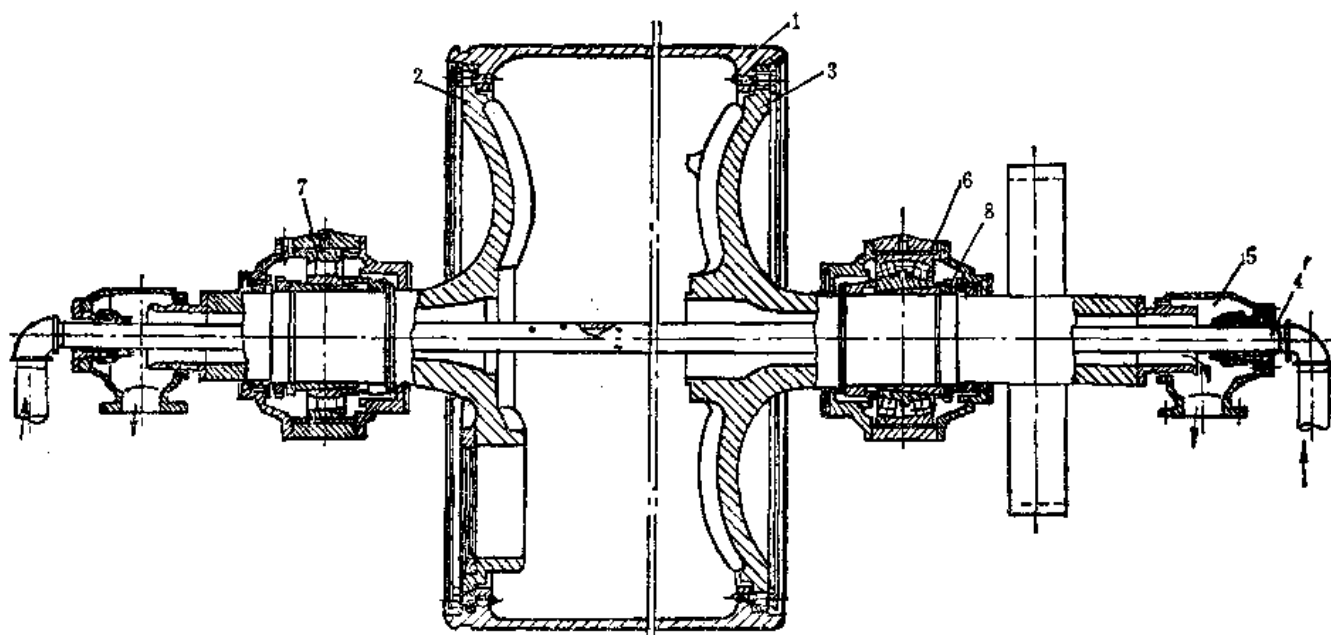


图 2-3-153 冷缸

1—缸体 2、3—缸盖 4—冷却水进水管 5—进水头 6—双列球面滚珠轴承 7—轴承 8—固定轴承螺母

却。为了增湿，有时冷缸还装有增湿毛布。

低速纸机的冷缸直径，通常为 600~800 或 1000 毫米。图 2-3-153 表示冷缸的构造。水由一根直径为 35~40 毫米的水管引入缸内，均匀喷在整个冷缸的宽度上。排水同样是汲管，汲管与烘缸壁的距离通常为 80~90 毫米。

高速纸机的冷缸直径与干纸烘缸相同，排水则用虹吸管。

为了避免铁质冷缸缸面生锈，缸面可加一层铜套或用喷镀金属的办法镀上一层 2.0~2.5 毫米的不锈钢。

每公斤纸(Q)由于纤维(Q_1)和水分(Q_2)的冷却所减少的热量：

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{C_2}{100} C_c (t_2 - t_3) + \left(1 - \frac{C_2}{100}\right) C_w (t_2 - t_3) \text{ (千卡/公斤纸)} \quad (2-3-92)$$

式中 C_2 ——烘干后纸的干度(%)；

t_2, t_3 ——纸入、出冷缸时的温度($^{\circ}\text{C}$)；

C_c, C_w ——纤维和水的平均热容量(千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$)($C_c = 0.34$ 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$)。

前面讲过，冷缸能增加纸 1.5~2.5% 的含水量，因此冷凝在缸面的水分，按每公斤纸计，为 $x_3 = 0.015 \sim 0.025$ 公斤。

空气的湿含量由 x_1 减少到 x_2 ，温度由 t'_1 降到 t'_2 时，按每公斤纸计，放出热量：

$$Q_3 = (I_1 - I_2) \frac{x_0}{x_1 - x_2} = \frac{x_0}{x_1 - x_2} [0.24(t'_1 - t'_2) + 0.47(x_1 t'_1 - x_2 t'_2) + 595(x_1 - x_2)] \text{ (千卡/公斤纸)} \quad (2-3-93)$$

式中 I_1 ——1 公斤干空气和 x_1 公斤水蒸汽在 t_1 温度时的热含量；

I_2 ——1 公斤干空气和 x_2 公斤水蒸汽在 t_2 温度时的热含量。

冷缸冷却应当带走的热量(Q_T)为：

$$Q_T = Q + Q_3 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ (千卡/公斤纸)} \quad (2-3-94)$$

故冷却一公斤纸所耗的水量(G)为：

$$G = \frac{Q_T}{\Delta t C_w} = \frac{Q_T}{(t'_4 - t'_3) C_w} \text{ (公斤水/公斤纸)} \quad (2-3-95)$$

式中 t'_3, t'_4 ——进、出冷缸的水温($^{\circ}\text{C}$)；

Δt ——进、出冷缸水的温度降(通常 $\Delta t = 5 \sim 10^{\circ}\text{C}$)。

一般冷缸消耗的冷却用水量为 3~5 公斤水/公斤纸。

(七) 干布

干布俗称大布。

干布的作用有下列几个方面：第一是将纸传递过干燥部，第二由它带动干布烘缸和干燥部的各个辊子(包括干布辊、调布辊、紧布辊等)，第三，干布将纸压在烘缸上，可以增强纸与缸面的接触，提高传热效率；另外，干布还能吸收湿纸在干燥时蒸发出来的水汽和湿纸表面的水分，增加了蒸发面积，两者均有利于提高干燥效率。同时还能避免纸在干燥时起皱和产生折子。

干布要求具有良好的耐久性、尺寸稳定性、透气性和吸水性、平滑性和柔软性。

具有良好耐久性的干布，包括耐热、耐磨损、耐曲折性和耐化学腐蚀性。尺寸稳定性好的干布，很少发生经线伸长和纬线收缩的现象。透气性和吸水性的干布，既能提高

干燥效率，同时干布本身也容易干燥。至于平滑性和柔软性良好的干布既能不在纸上留下布纹，又能均匀地将湿纸紧密地压在烘缸表面，提高传热效率和干燥效率。

干布的种类有干毯、帆布和塑料网三种。最早的大布是用100%羊毛做成的干毯，毯厚达10毫米，定量高到4000克/米²，这种羊毛干毯，目前除在欧洲某些生产高级纸（要求平滑性特高的）的小纸机尚有用的以外，一般早已不用它了。到了六十年代，针刺毛毯已经取代了编织毛毯，但生产上用针刺干毯的也并不多，原因是它虽能用合成纤维加强棉纱作底布，强度大，伸长率小，铺层用30%锦纶、70%羊毛，耐磨、耐高温，运转平稳，无裂口，因此延长使用寿命；但针刺干毯的透气性比普通透气的干毯并好不了多少，所以纸机烘缸部用它的也不很普遍。

采用帆布代替干毯，已有五、六十年的历史了，现在用它的也还不少。

帆布的织法多用平织，但层数有单层、双层和三层几种（图2-3-154）。在多烘缸造纸机中，通常是用定量为2000~2400克/米²的平织三层帆布。

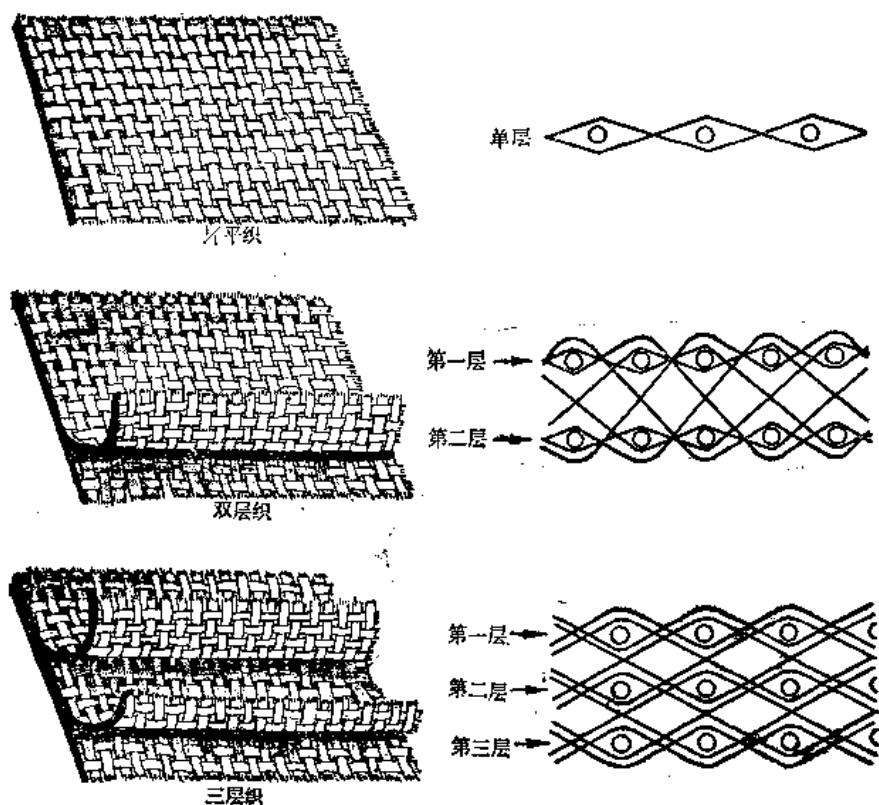


图 2-3-154 帆布的织法

增加帆布的层数，可以提高它的透气性和改善它的平滑性（表2-3-22）。

为了提高帆布的抗热性能和防止受硫酸盐损害，织造帆布用的原纱，除棉纱以外，还使用天然纤维——石棉纤维；近来，为了提高帆布的强度耐热性和耐酸性，则加有合成纤维（常用的合成纤维有聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚丙烯纤维等），帆布最好是用石棉纤维作棉纤维的外套，而合成纤维用以加强经线。

生产含大量磨木浆的纸（例如新闻纸、印刷纸和书写纸等）和用游离状化浆抄成的

纸，多用定量为 1800 克/米²的纯棉纱帆布或 10~15% 聚酯纤维补强经线双层、纬线三层帆布。

帆布接头，人工是用尼龙线接锯齿形缝接。国外帆布多用链式挂钩接头（图 2-3-155）。

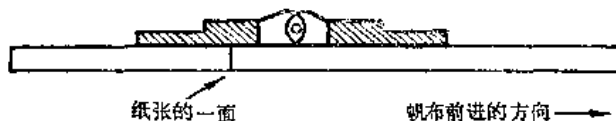


图 2-3-155 挂钩接头

帆布的长度决定于每组烘缸的数目，宽度一般与烘缸宽度相等。帆布的使用寿命，一般为 2~3 月。寿命长短，自然与纸机车速、烘缸温度、张紧强度等有关。

总的说来，帆布的透气性还是较差，因此加大了湿纸蒸发蒸汽透过的阻力，影响烘缸的干燥效率。近十年来发展到使用多丝或单丝塑料网代替帆布，这种塑料网具有高透气性和耐热性。以往塑料网全部用多丝纱线织成，表面涂树脂以提高稳定性，现在已有用单丝织成的。

塑料网的透气性特别大，远远不是帆布和干毯所能比拟（表 2-3-22）。

表 2-3-22 各式干布的透气性比较

干 布 类 别	透 气 性 (米 ³ /小时/米 ² , 12.5 毫米水柱)
合成纤维补强双层全棉帆布	73
合成纤维补强四层全棉帆布	366
合成纤维补强双层棉·石棉帆布	73
合成纤维补强三层棉·石棉帆布	110
合成纤维补强四层棉·石棉帆布	604
细眼多丝塑料网	1830
中眼多丝塑料网	3660
粗眼多丝塑料网	10244
粗眼单丝塑料网	13720

塑料网主要有下述优点：

（1）提高干燥效率：有的工厂采用塑料网后，纸机干燥效率可提高 10%，甚至 25%，但须加强烘缸气袋通风，方能取得良好效果。

（2）提高纸页横幅的干燥均匀性。

（3）节省蒸汽：塑料网不用干布缸，可以节省蒸汽，不过它要求烘缸罩有充分的通风能力，能迅速排除湿空气。

目前塑料网多用于普通纸（如新闻纸、牛皮纸等）和纸板的生产中。

（八）干燥过程强化的途径和措施

1. 高压蒸汽

提高加热蒸汽压力，可以强化干燥过程，所以生产上在不影响成纸质量的前提下，应尽可能提高蒸汽压力。一般干燥纸时使用蒸汽压力为 $1.96 \sim 2.04 \times 10^5$ 牛顿/米² (2.0~2.5 公斤/厘米²) 其相应饱和蒸汽温度为 132.9~139.2℃，如果蒸汽压力能提高到 7.84×10^5 牛顿/米² (8 公斤/厘米², 174.53℃)，而纸的平均温度仍为 80℃的话，则传热

量增长 $\frac{174.53-80}{132.9-80} = 1.8$ 倍，即可提高 80% 左右。

2. 树脂挂里

根据化工原理可知, 滴状冷凝的传热系数大于膜状冷凝。一般蒸汽在烘缸内壁是呈膜状冷凝, 为了让蒸汽能变成滴状冷凝, 办法之一是在烘缸内进行树脂挂里, 涂上一层辛癸胺树脂薄膜, 使其烘缸缸壁既不受 CO_2 和 O_2 的腐蚀, 又能使蒸汽由膜状变成滴状冷凝, 因而可以提高传热能力, 强化干燥。根据实际测定结果证明: 缸壁涂辛癸胺树脂以后, 总传热系数 U 增加 38%, 干燥可节约热量 6.9%。另外, 也可以将辛癸胺作成分散液直接加入蒸汽中(用量为 2~5 毫克/公斤蒸汽), 取得相同的效果。

3. 合金烘缸

前面烘缸的传热一节中已经讲过, 总传热系数:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (\text{千卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C})$$

铸铁的导热系数 λ 为 54 千卡/米·小时· $^\circ\text{C}$ 。如能采用导热系数更大的材料制造烘缸, 就能提高总传热系数, 进而增加烘缸的总传热量。

国外有人使用一种铸铁合金(K_6)来制造烘缸, K_6 的极限抗张强度增长 10~18%, 延伸性增加 25%, 同时增加热传导系数。

4. 气袋通风

当纸和干布离开前一个烘缸分别进到后一个烘缸和转到干布辊的时候, 湿纸烘缸和干布之间出现一个负压气袋(图 2-3-156), 反之, 在湿纸离前一烘缸与干布辊转来的干布汇合到下一烘缸时, 则出现一个正压气袋。因为普通帆布的透气性很差, 气袋中停滞着湿热的空气。空气湿度既大, 又不流通, 从(2-3-62)和(2-3-63)式可知大大降低在双面自由蒸发区中湿纸的对流干燥效率。为了解决这个问题, 目前多采用气袋通风。气袋通风有下述一些办法: 对低速窄纸机, 使用热空气对着气袋, 进行横吹风(从工作边吹向传动边), 或者横跨在气袋中安装热风管, 管上定距离地开有眼孔或缝隙, 控制风速在 20~25 米/秒范围内吹送热风。

到了六十年代和七十年代初期, 发展有许多机械通风装置, 基本上有下列几类:

(1) 通风箱缝口高速吹风(图 2-3-157): 通风箱装在烘缸气袋入口一边的烘缸和干布辊之间, 采用高速低流量吹风。据称在干燥部除头尾三、四烘缸因为蒸发量小, 可以不装通风箱外, 其余各个烘缸气袋里都有通风箱, 可提高干燥能力约 8% 左右。

(2) 用热风辊代替干布辊: 热风辊的使用如图 2-3-157 所示, 热风穿过干布使气袋产生通风。

(3) 通风管缝口低压吹风(图 2-3-158): 这种气袋通风, 采用低风速高流量的吹风方式, 透过干布使气袋通风。

应用气袋通风后, 烘缸的干燥效率可以提高, 并且还能使成纸横幅水分均匀一致, 避免纸出干燥部两边干、中间湿的弊病。

应用气袋通风, 必须与使用透气性大的干布相配合, 否则热风透不过干布, 达不到气袋通风的作用, 特别是在后一类低压通风管的情况下, 因为应用的是低风压高流量吹风, 最好是用高透气性的塑料网。

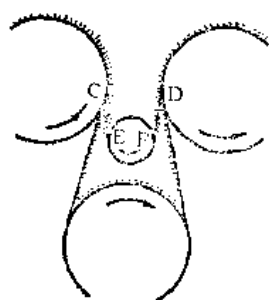


图 2-3-156
烘缸气袋

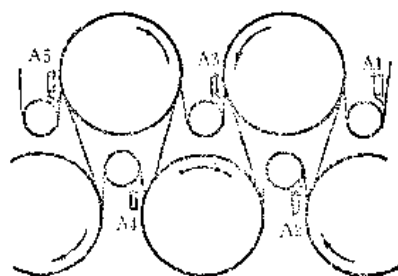


图 2-3-157 通风管
(图中A为通风箱)

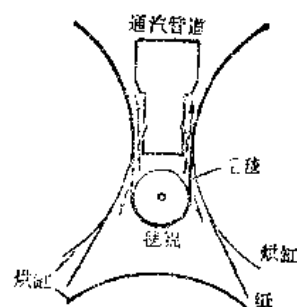


图 2-3-158 通风管

5. 高速热风干燥

高温高速热风干燥，综合地运用了接触干燥和对流干燥的原理来强化干燥。

高温高速热风干燥的烘缸罩包住了 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 烘缸(图 2-3-159), 利用高压鼓风机将高温热风($150 \sim 400^{\circ}\text{C}$)通过喷嘴(嘴宽 $0.04 \sim 0.6$ 毫米, 嘴距 $18 \sim 25$ 毫米)以很高的速度($50 \sim 100$ 米/秒)垂直吹到烘缸表面湿纸上。喷嘴与纸之间的距离, 根据需要可调在 $3 \sim 13$ 毫米范围内。

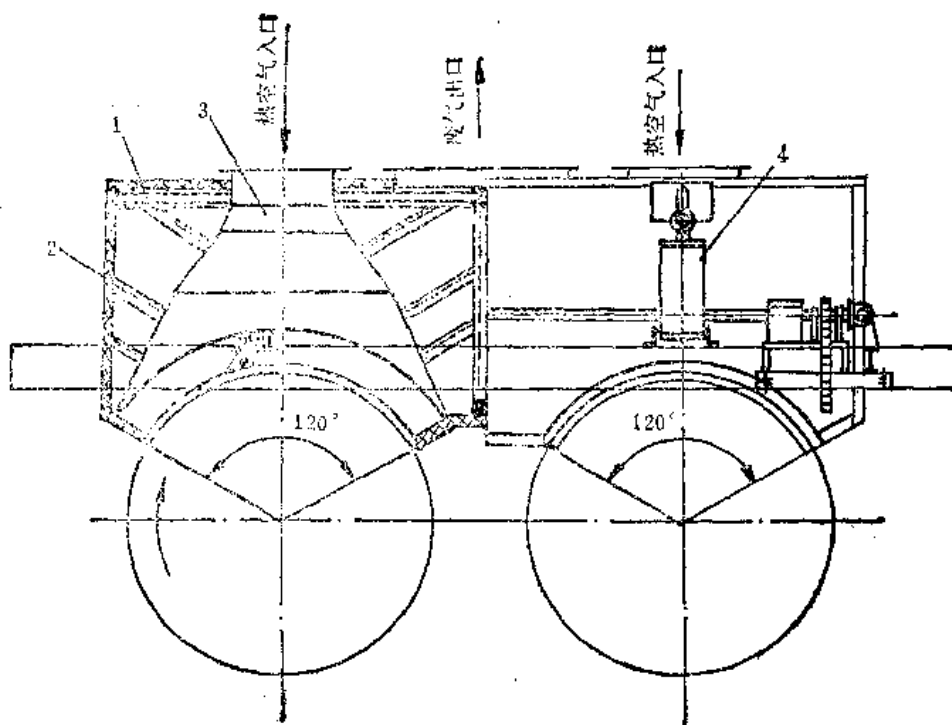


图 2-3-159 烘缸罩

1—骨架 2—壁板 3—压力室 4—供断头和引纸时用的升降烘缸罩气动机构

需要空气温度在 180° 以下时, 可用高压蒸汽在加热器中加热空气, 如果超过 180°C , 则多用石油气或煤气燃烧炉产生热空气, 经过过滤后使用。从烘缸罩喷嘴间抽回的废气, 加 10% 新鲜空气循环应用(图 2-3-160)。

高温高速热风干燥使热空气向纸产生很快的对流传热。由于高速空气垂直吹到纸

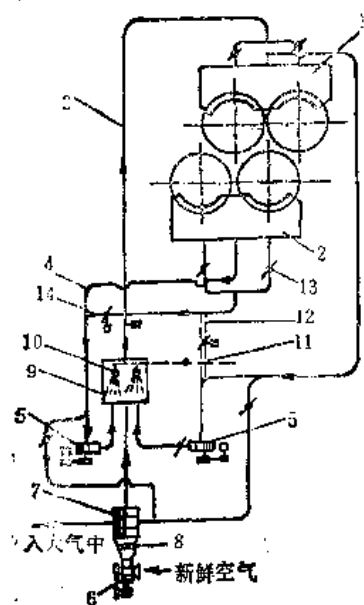


图 2-3-160 高温高速热风干燥的空气循环
1—上烘缸罩 2—下烘缸罩 3—进气管 4—抽气管 5—鼓风机 6—新鲜空气鼓风机 7—热交换器 8—加热器 9—混合室 10—燃烧嘴 11—燃料管 12—支管 13—节流阀 14—带伺服电动机的节流阀

干燥时热效率可以达到 85~92%。干燥纸后从烘缸罩排出的废气湿含量很高(0.2~0.25 公斤水/公斤空气)，因此空气用量可大为减少，通风消耗的电力不多，只有 2.88~ 3.6×10^5 焦耳(0.08~0.1 度/公斤蒸发水)。

6. 穿透干燥

穿透干燥指在正压或负压下，热风穿透整个湿纸层进行干燥，它是最近十年来在纸的干燥上一项重大的变革。

穿透干燥本质上是一个绝热过程。在热空气透过湿纸的时候，纸中的水分被热空气带走，而热空气同时损失其显热。

穿透干燥最重要的设备是一个穿透缸(图 2-3-161)。穿透干燥可分两类，一类是热空气在压力作用下透过湿纸，进行干燥(图 2-3-162)，俗称外向穿透干燥。外向穿透干燥用有高透气性的塑料网包在穿透缸外围，包角达穿透缸圆周的 $\frac{2}{3}$ 左右，避免纸被热风吹走。

干燥使用热风温度最高为 250°C，风压可达 850 毫米水柱高度，一般外向穿透干燥的干燥效率为 80~100 公斤/小时·米²。另一类俗称内向穿透干燥，即热空气在真空作用下，穿透湿纸进到穿透缸内(图 2-3-163)，因为热空气是由外向内将湿纸压在穿透缸缸表上，不需要透气塑料网包住穿透缸。图 2-3-85 所表示的是一种与高速热风干燥相结合的内向穿透干燥，高温热空气通过烘缸罩喷嘴，以极高的速度垂直吹到湿纸面上，再在穿透缸的真空(150~200 毫米汞柱)作用下穿过湿纸层，所以它的干燥效率特别高，可以达到 145~170 公斤/小时·米²。干燥效率的大小决定于高温高速热风干燥

上，界面上的空气薄膜受到破坏或减低厚度，因而传热和传质系数大为增加，强化了蒸发干燥。

高温高速干燥烘缸罩，应安装在干燥部的前端，因为这时湿纸含水较多，纸中的水分能够迅速扩散到纸的面上，不会因为高温空气干燥而影响质量和引起纸的起皱。

纸机干燥部安装了这种烘缸罩后，干燥速率比普通烘缸高 4~6 倍，每小时每米²有效烘缸面积的蒸发能力随空气温度变化如下：

空气温度(°C)			
150	200	260	315
烘缸蒸发能力(公斤水/小时·米 ² 有效面积)			
42	60	78	96

最高可达到 220 公斤水/小时·米²有效面积。根据生产实践证明，原有 56 个烘缸的纸机，经采用 12 个高温高速热风干燥烘缸罩之后，只需 14 个烘缸就可以满足生产的要求了。

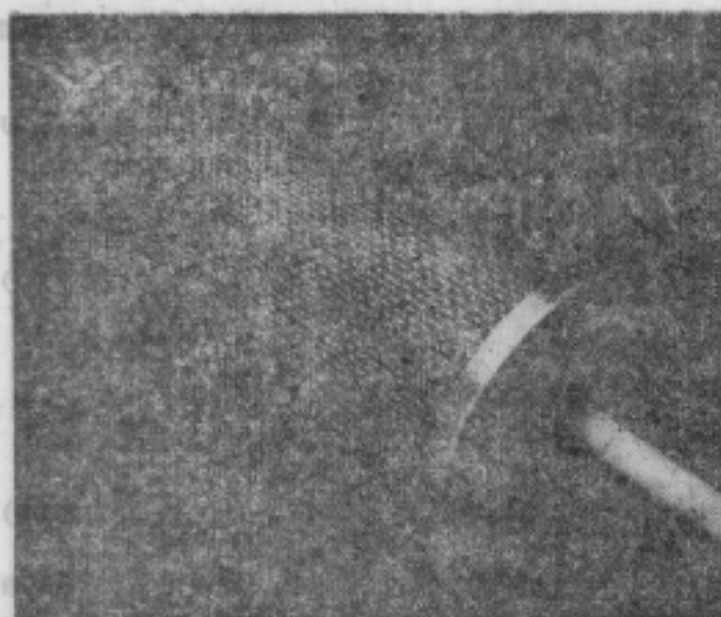


图 2-3-161 穿透缸



图 2-3-162 外向穿透干燥

的喷嘴风速、热空气温度和穿透风量。

按普通多烘缸的干燥效率只有 $10 \sim 30$ 公斤水/小时·米²，大直径单缸纸机大烘缸的干燥效率约 100 公斤水/小时·米²，而内向穿透干燥竟高到 $145 \sim 170$ 公斤水/小时·米² 之多。据称一个直径为 2.5 米的穿透缸可以顶 36 个直径 1.5 米烘缸的干燥能力。另据国外报道，一台车速为 1300 米/分的薄纸纸机，需用直径 1.5 米的普通烘缸 51 个，干燥部全长达 60 米，如改用穿透干燥，则需用直径 1.8 米的内向穿透缸仅仅 8 个，干燥部长度也缩短到 23.5 米。另外，从经济效果来看，设备投资和生产成本也比普通烘缸干燥节省 27% 左右。

目前全世界使用穿透缸总数已超过 200 个，最大的穿透缸直径达到 6.7 米。

但穿透干燥只适用透气度大的薄纸（例如卫生纸、餐巾纸、过滤烟嘴纸、滤纸、薄纸、薄新闻纸、牛皮纸等）和不纺织布。

另外，穿透干燥现在已发展到适用于其他纸类的长网型穿透干燥。

至于其他如气垫干燥、红外干燥、介电干燥和微波干燥等新型干燥，或因应用范围太窄，或因使用成本太高，或者尚未在工业上普遍应用，这里就不再讲述它们了。

(九) 干燥部的通风

纸在干燥部含水量从 $60 \sim 70\%$ 降到 $5 \sim 8\%$ ，蒸发出来大量的水分，如不将这些含水量大的湿热空气引到车间以外，另外补给新鲜空气，势必会影响干燥部的干燥效率，并且有碍工人的劳动条件。

纸机干燥部设有通风罩，利用自然通风或强制通风通过排风机将湿热空气排出车

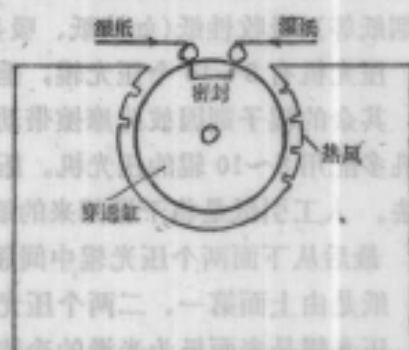


图 2-3-163 内向穿透干燥

间。强制通风并装有热交换器回收废热，用以提高进入车间新鲜空气的温度，一方面加强干燥能力，同时又能节约蒸汽用量。

为了防止空气中水蒸汽凝结和保证车间的卫生条件，设计上一般规定排风温度为 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50\sim 70\%$ ，车间温度应当保持在 $20\sim 23^{\circ}\text{C}$ 。

从造纸车间排除由一公斤纸蒸发出水量所需要的空气量为：

$$L = \frac{C_2 - C_1}{C_1(x_1 - x_0)} \quad (\text{公斤空气/公斤纸}) \quad (2-3-96)$$

式中 C_1, C_2 ——进、出干燥部纸的含水量(%)；

x_0, x_1 ——进、出车间的空气湿含量(公斤水/公斤空气)。

如纸机生产能力为 G 公斤纸/小时，则通风总共需要空气量为：

$$L_T = LG = \frac{G(C_2 - C_1)}{C_1(x_1 - x_0)} \quad (\text{公斤空气/小时}) \quad (2-3-97)$$

考虑到造纸车间湿部潮湿地面和开口槽内的水分蒸发，通风量一般按理论计算附加 $5\sim 10\%$ 。另外，排风机的能力应比送风机略大一些，以便不让潮湿空气从造纸车间扩散到了附近的其他车间。

五、压光卷取部

(一) 压光

一般长网纸机在干燥部之后装有一台压光机，用以提高纸的平滑度、光泽度和厚度均匀性。另外也有同时采用两台串联压光机的，纸的平滑度、光泽度等虽然能有进一步提高，但纸机操作比较复杂，并且容易断头，故未广泛应用。生产薄纸（如电容器纸、卷烟纸等）、吸收性纸（如滤纸、吸墨纸、铜纸原纸等）和单面纸，则多不用压光机。

压光机有 $3\sim 10$ 个压光辊，垂直重叠安装在机架上(图 2-3-164)，最下一个为原动辊，其余的辊子则因彼此摩擦带动。低速和中速纸机多装 $3\sim 6$ 辊压光机，高速新闻纸纸机多配用 $8\sim 10$ 辊的压光机。压光机的辊子数目有奇数和偶数两种，主要决定于引纸方法。人工引纸是将干燥部来的纸绕过最上一个辊子，然后顺次通过下面各个辊子之间，最后从下面两个压光辊中间领出，送到卷纸机卷成卷筒纸。如果是用压缩空气引纸，纸是由上面第一、二两个压光辊之间进入压光机。

压光辊是表面极为光滑的冷铸铁辊，硬度不低于 $80\sim 85^{\circ}$ (肖氏)。压光机必须保证辊面光滑，粗糙度容许偏差不得超过 0.5 微米。在纸机普通运转情况下，下压光辊每 $8\sim 24$ 月须磨一次，其他的压光辊磨辊的周期要短一些，为 $2\sim 12$ 月，磨辊周期长短，主要根据纸机车速决定。压光机的辊子直径随纸机宽度而定，其中下压光辊直径最大，上辊次之，中间的压光辊直径最小。

压光辊辊面宽度较未切边的纸幅约宽 $130\sim 180$ 毫米。表 2-3-23 列举 2520、4200 和 5880 毫米造纸机的压光辊规格：

压光机辊子间的压力是由辊子本身重量造成，使用附加压力的不多。六辊压光机最下两个压光辊间的线压为 $4.90\sim 5.88 \times 10^2$ 牛顿/米($50\sim 60$ 公斤/厘米)，八辊压光机为 $6.86\sim 7.84 \times 10^2$ 牛顿/米($70\sim 80$ 公斤/厘米)，十辊压光机为 9.81×10^3 牛顿/厘米(100

表 2-3-23

压 光 机 辊 子 规 格

纸 机 宽 度 (毫米)	压 光 辊 直 径 (毫米)			压光辊工作面宽度 (毫米)			轴 承 间 中 心 距 (毫米)		
	2520	4200	5880	2520	4200	5880	2520	4200	5880
上 辊	400	500	500	2700	4400	6100	3500	5400	7150
中 辊	300	400	400	2700	4400	6100	3500	5400	7150
下 辊	500	700	900	2700	4400	6100	3500	5400	7150

公斤/厘米)。

压光机只有最上和最下两个辊子有中高,有时也可以把最下辊的中高分配 10~15% 给倒数第二个压光辊。

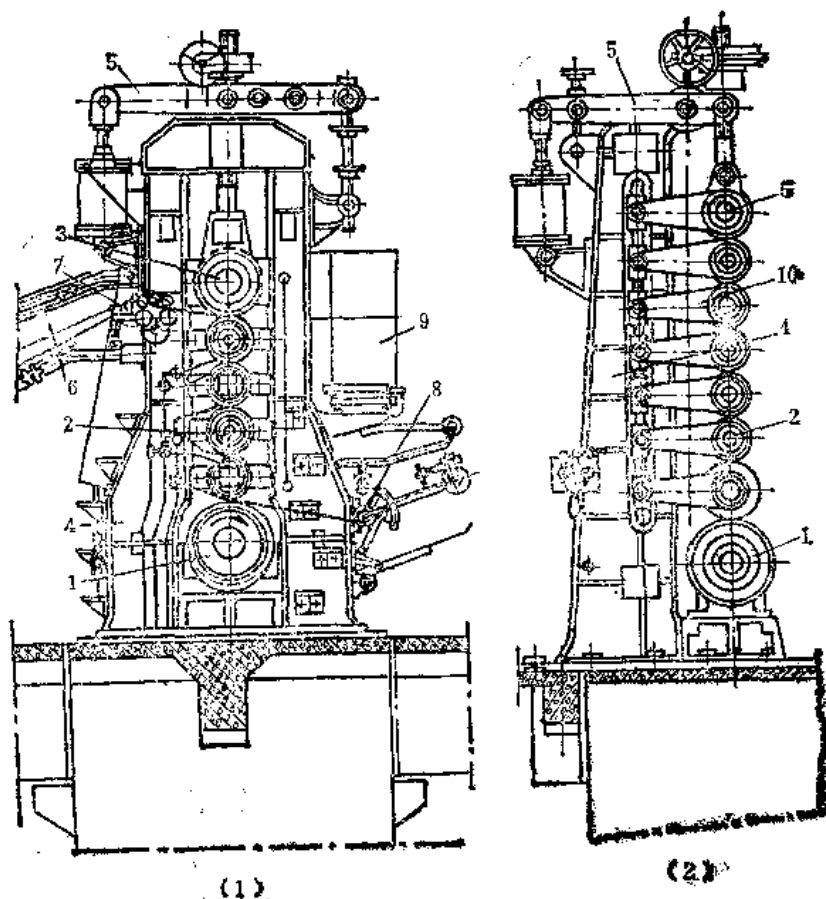


图 2-3-164 压光机

1—下辊 2—中辊 3—上辊 4—机架 5—加压升降机构 6—空气引纸 7—压光机前
展纸辊 8—卷纸机前展纸辊 9—平台 10—中间辊轴承臂

压光机辊子有中高,带来了和压榨辊有中高同样的一些缺点,为此,新型的压光机下辊也采用了可控挠度辊——浮游辊(参阅压榨部辊子中高一节)。图 2-3-165 表示一台有浮游辊的六辊压光机。

压光改变纸的性质与通过压光辊个数有关。有人应用八辊压光机研究压光对 52 克/

米²轮转印刷纸的影响。结果发现随着通过压缝次数的增加,裂断长(纵向和横向)、撕裂度都跟着有所下降(图 2-3-166),厚度的减少几乎与通过压缝次数有着线性关系,因为这种轮转印刷纸的灰分含量达 10% 左右,压光以后,不透明性变化不大。^{*}平滑度有显著提高,并且无论网面和毯面都几呈直线增长,但后期上升速度减慢,故对提高纸的平滑度来说,有一最有利的压光辊通过次数(图 2-3-167)。

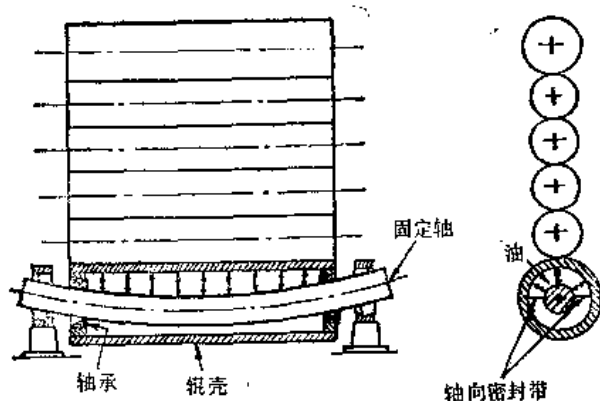


图 2-3-165 压光机中浮游辊作用图

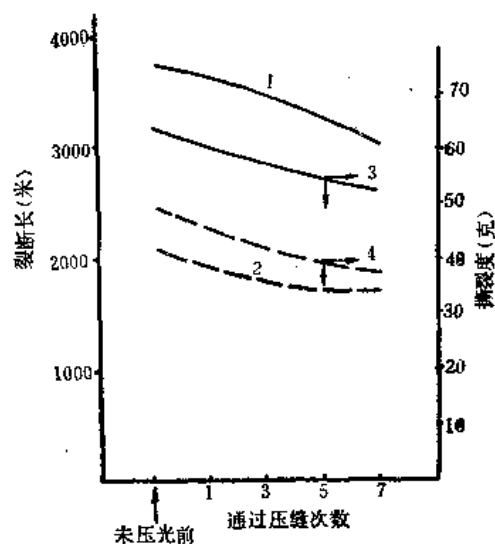


图 2-3-166 压光与裂断长、撕裂度的关系

1—纵向裂断长 2—横向裂断长
3—横向撕裂度 4—纵向撕裂度

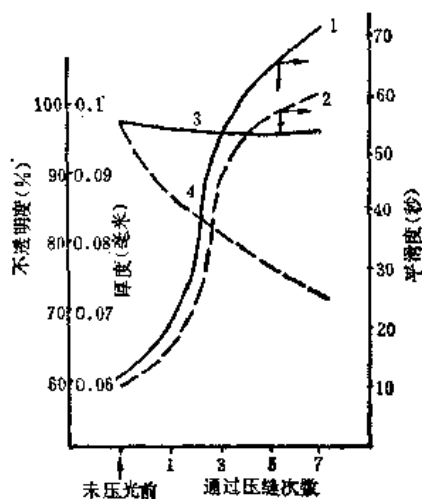


图 2-3-167 压光与厚度、不透明度、平滑度的关系

1—正面平滑度 2—反面平滑度 3—不透明度 4—厚度

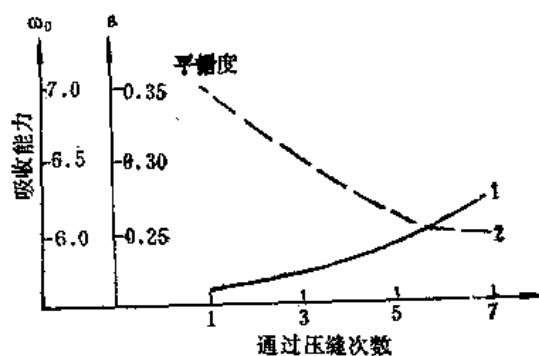


图2-3-168 压光与吸收性的关系

1—平滑度 2—吸收能力

随着通过压光辊压缝次数的增加,纸的紧度提高,油墨吸收性下降,印刷时油墨用量减少。图 2-3-168 表示它与印刷性质的关系,故从节约印刷油墨来说,印刷纸的压光是必要的。

增加纸的水分,纤维塑性增加,能够取得较高的压光效果。水分含量大的纸压光以后,一般紧度、强度、光泽度和抗油性较高,但白度和不透明度较低。含水量很高的纸,不可压光过度,以免纸张变暗;反之,纸太干了,压光又易卷曲。通常压光前纸的

含水量以 6~8% 较为适合。

高速纸机中压光辊摩擦产生大量的热,促使辊子温度上升,如果纸的定量和水分不均,压光时辊子各部的温升不同,影响压光辊间线压的一致性,结果压光以后的纸厚薄不均,卷成的卷筒松紧不一致,因而给以后切纸和超级压光带来困难。为了除去压光时摩擦产生的热,除了用水冷却中间辊子的办法以外,还可用鼓风机和空气嘴吹冷风到下面三个压光辊上。以往用冷风风压不超过 200~250 毫米水柱的低压鼓风机,通风量能满足每米宽度上 3000~4000 米³/小时,现在高速纸机用的鼓风机风压为 $5.05 \sim 14.14 \times 10^3$ 牛顿/米² (500~1400 毫米水柱),空气先经冷却设备降温到 4~7°C,过滤后吹向压光辊。同时,为了调整压光辊整个宽度上冷热程度均匀一致起见,空气嘴的位置可以移动,并在管线上装有阀门控制冷风量,借以补偿辊子各部中高的误差。

如果进入压光机的纸水分过多,有时更通蒸汽 $2.94 \sim 5.88 \times 10^5$ 牛顿/米² (3~6 公斤/厘米²)入中间的压光辊。

压光机各个辊子上都装有夹布胶木刮刀(适用于车速低于 150 米/分的低速纸机)或钢质刮刀(厚 0.5~0.6 毫米),刮刀与压光辊间的线压为 $0.98 \sim 2.94 \times 10^4$ 牛顿/米 (0.1~0.3 公斤/厘米)。

压光机停止运转时,除下辊外,必须通过升降装置将各个辊子提起,使辊子之间保持有 3~5 毫米的间隙,以免辊子接触部分受压发生变形。

(二) 卷纸

卷纸机是抄纸联动机,是造纸系统的最后一个设备。卷纸的质量好坏是影响以后生产过程正常操作的重要因素,生产中卷纸要求卷筒松紧均匀,应当避免两端松紧不一和卷芯起皱等缺点。

常用的卷纸机有轴式和辊式两种。

轴式卷纸机是比较旧式的卷纸设备(图 2-3-169),仅限于低速纸机之用(150 米/分以下)。目前除卷烟纸、电容器纸等薄纸纸机外,一般已不多见。使用轴式卷纸机时,须在卷纸机中部用圆切刀将纸幅裁成两条或两条以上的窄纸幅,分别卷在卷纸轴上。

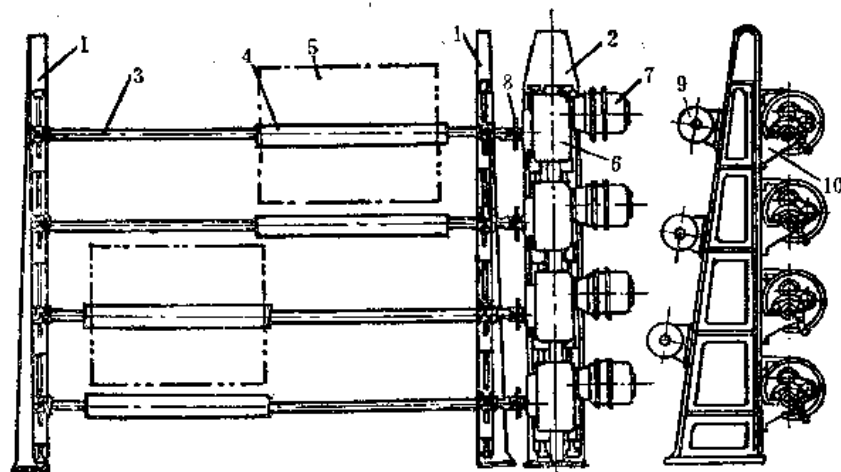


图 2-3-169 轴式卷纸机

1—机架 2—传动架 3—方轴 4—纸芯 5—纸卷 6—减速器 7—电动机 8—联轴器
9—纸辊 10—方轴支架

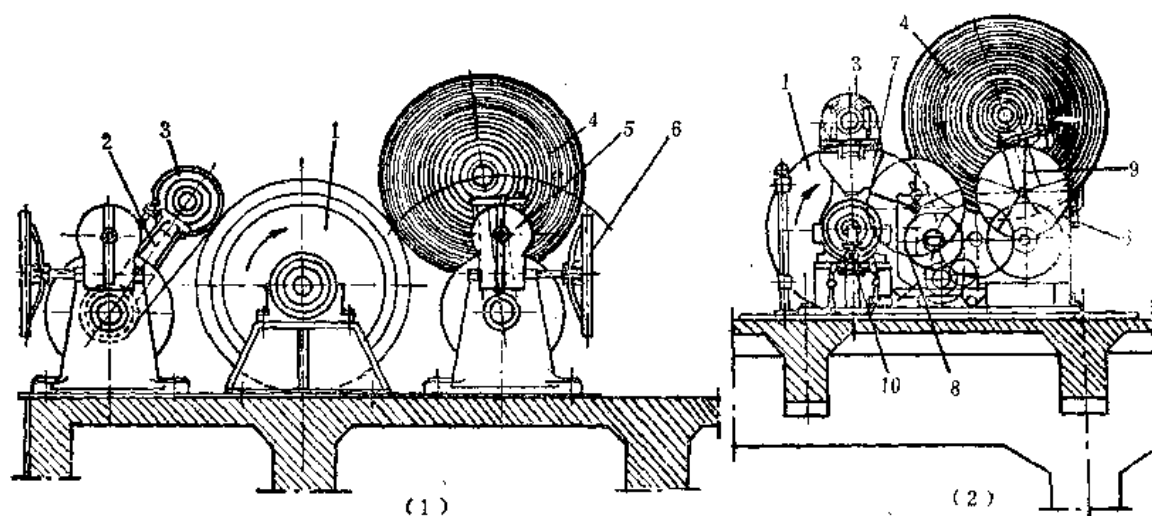


图 2-3-170 辊式卷纸机

(1) 双辊式

1—冷缸 2—支杆 3—卷纸轴 4—纸卷 5—支杆 6—手轮 7—领纸支杆 8—手轮
9—支杆 10—冷水管

(2) 单辊式

轴式卷纸机多用方形卷纸轴，轴上套有直径约 100 毫米的木芯。待卷成一定规格的卷筒后，将卷筒连轴一起从卷纸机卸下来，取去卷筒，另在卷纸机上放上一根新的卷纸轴。

卷纸的圆周速度：

$$v = \rho \omega = \frac{D\omega}{2} \quad (2-3-98)$$

式中 ρ 、 D ——卷纸时纸卷的半径和直径；

ω ——纸卷的角速度。

纸在卷成卷筒的过程中，卷筒直径不断增加，但其圆周速度却须固定不变，因此，必须使卷筒的迴转速度随着纸卷的直径加大而逐渐减小，否则无法保证卷筒松紧一致，为了调节转速，轴式卷纸机多用摩擦联轴器，有时则通过电动机调节转速（电动卷纸机）。

辊式卷纸机又称表面卷纸机（图 2-3-170）是目前广泛使用的一种卷纸设备。这种卷纸机可以适合各种车速的造纸机。采用辊式卷纸机卷成的卷筒比较紧实，并且纸幅受到的张力也较小，在生产中不容易产生断头。

辊式卷纸机由放在一对支杆上的卷纸轴和卷纸缸组成。卷纸缸以一定的速度迴转，卷纸轴上的纸卷则压在缸面上，被卷纸缸带着迴转连续地卷纸。纸卷与卷纸缸之间的线压是决定卷纸松紧的重要条件，为此，必须设法使其线压保持在 $9.81 \sim 12.8 \times 10^2$ 牛顿/米（1.0~1.3 公斤/厘米）。

辊式卷纸机又有单辊式和双辊式两种（图 2-3-170）。双辊式卷纸机中有两套放置卷纸轴的装置，以便换轴。单辊式卷纸机只有一对支杆放卷纸轴，领纸时，纸幅首先在杆上卷成 50~70 厘米半径的卷筒，然后利用电动吊车将卷筒吊走，另放卷纸轴重新卷纸。

单辊式卷纸机领纸方便。操作时由人工操纵手轮，通过齿轮传动系统使已经卷纸的卷筒离开缸面 10~20 毫米，再用吊车将它送去整纸工段。卷筒直径一般定为 800 毫米。

卷纸时，卷筒实际上是沿阿基米德螺旋线运动成的圆柱体（图 2-3-171）。在卷筒卷

得紧实的情况下, t 时间内卷得的卷筒直径 D_t 和卷纸轴直径 D_0 、纸的厚度 δ 和卷纸速度 v 之间有如下关系存在:

$$D_t^2 = D_0^2 + \frac{4\delta v}{\pi} t \text{ (米)} \quad (2-3-99)$$

$$t = \frac{\pi}{4\delta v} (D_t^2 - D_0^2) \text{ (分)} \quad (2-3-100)$$

卷筒中纸的长度:

$$l = vt = \frac{\pi}{4\delta} (D_t^2 - D_0^2) \text{ (米)} \quad (2-3-101)$$

如已知卷纸速度、纸的厚度和卷纸轴的直径, 即可求得卷到规定卷筒直径所需要的时间和纸的长度。

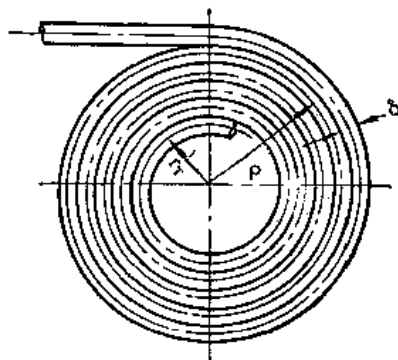


图 2-3-171 阿基米德螺旋线卷纸

在这里附带讲一讲退纸的问题。在退卷筒时, 如开始退纸时卷筒为 D_H , 则其关系如下:

$$D_t^2 = D_H^2 - \frac{4\delta v}{\pi} l \text{ (米)} \quad (2-3-102)$$

$$t = \frac{\pi}{4\delta v} (D_H^2 - D_t^2) \text{ (分)} \quad (2-3-103)$$

$$l = vt = \frac{\pi}{4\delta} (D_H^2 - D_t^2) \text{ (米)} \quad (2-3-104)$$

当圆周速度不变时, 由于卷筒直径的变化(卷纸时增大, 退纸时减小), 卷筒可以变转速或变角速度转动。卷筒的角速度为:

$$\varepsilon = \pm \frac{4\delta v^2}{\pi D_t^2} \quad (2-3-105)$$

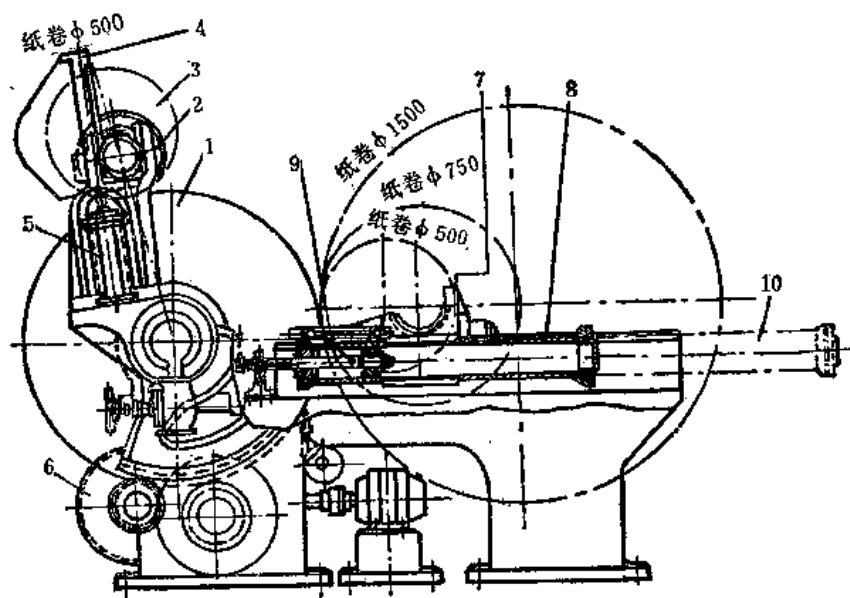


图 2-3-172 气动加压辊式卷纸机

1—卷纸缸 2—卷纸辊 3—纸卷 4—引纸摇臂 5—引纸摇臂气压缸 6—引纸摇臂回转机构 7—卷纸辊卷纸轴架 8—加压气压缸 9—气压缸杆 10—在最大纸卷直径时气压缸的位置

卷纸时,角加速度为负值,退纸时为正值。

上述两种辊式卷纸机,仅适用于低速造纸机,一般高速纸机多用气动加压的辊式卷纸机(图 2-3-172 代表一种压缩空气加压的卷纸机)。

这种卷纸机也是采用单辊,引纸比较方便。当在引纸摇臂上的纸卷卷到 400~500 毫米以下时,纸卷和卷纸缸之间所必需的线压力,可借助于引纸摇臂上的辅助气压缸来取得。等到纸卷直径达到 100~140 毫米时,纸卷便自动转到水平导轨的一对轴架上继续卷纸,这时,引纸摇臂由专用回转机构转回到原来位置。至于在主滑架上的纸卷与卷纸缸之间所必需的线压力(一般为 $1.96 \sim 4.90 \times 10^3$ 牛顿/米),则由配有膜式压力调节器的加压气压缸来达到,因此线压比较稳定,出入不超过 3~5%,从而能够保证纸卷卷得均匀,松紧适当。另外,这种卷纸机所卷的纸卷直径加大,可达 1500~2000 毫米,甚至能达到 2400 毫米以上,这就使造纸机每班生产的纸卷数目减少 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$,因而能降低损纸量和提高完成整理设备的利用率。

第四节 特殊造纸机

造纸机根据纸页成形部分(即网部)构造上的不同,可以分为长网纸机(包括短长网纸机)、圆网纸机(包括真空圆网纸机)、长圆网混合纸机、夹网纸机(包括叠网纸机)和干法成形纸机等几大类。关于长网纸机、圆网纸机和夹网纸机都已经在前面网部详细讲过了,混合纸机将在后面纸板一章讲到。

本节着重讨论单面光、自动引纸和干法抄纸的三种特殊纸机。

一、单面光纸机

单面光纸机用于生产定量大于 60 克/米^2 的招贴纸、墙壁纸、纱管纸等。这些纸的一面要求平滑,以适合印刷和满足特殊需要,而另一面是用来粘贴,勿须平滑的纸面。

单面光纸机的湿部与一般长网纸机相同,但干燥部分为两个部分,即预热干燥和最后干燥两部分(见图 2-3-173)。

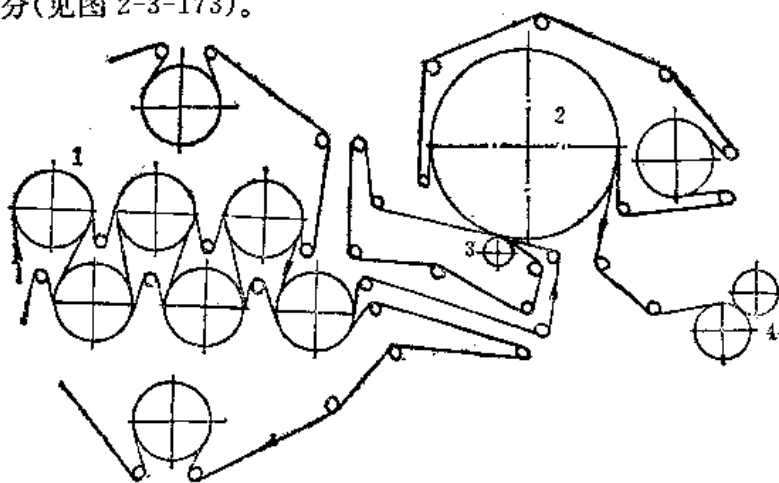


图 2-3-173 单面光纸机

1—预热干燥部 2—平滑大烘缸 3—平滑压榨 4—卷纸机

预热干燥部由普通 1.5 米直径烘缸组成，同样是排成上下两层，烘缸数目以保证能将纸干到 60% 左右干度为原则。最后干燥部只有一个直径为 2~5 米、表面极为光滑的大烘缸，大烘缸上有它自己的干布和干布缸。

从预热干燥部出来的半干纸，由引纸短毛毯，经过 1~3 个压辊压到平滑大烘缸表面上，使其接触大烘缸的纸面具有很高的平滑度和光泽度。最后一个压榨胶辊〔硬度为 $90\sim 95^\circ$ (肖氏)]，与烘缸之间的线压达 $7.84\sim 9.81\times 10^4$ 牛顿/米 (80~100 公斤/厘米)。

半干纸包着大烘缸的角度达 $310\sim 320^\circ$ ，因而大大增加了烘缸的有效干燥面积。纸机的生产能力决定于大烘缸的尺寸。有时为了提高纸机的生产能力，又在大烘缸之后再装一个或若干个辅助小烘缸，这时纸在大烘缸上只应干燥到 75~80% 干度，纸机生产能力因为加了辅助小烘缸，可以提高 20~25%，但纸的光泽度略有下降。

由于单面光纸机大烘缸使用的蒸汽压力较高为 $(2.45\sim 4.90\times 10^5$ 牛顿/米²) ($2.5\sim 5.0$ 公斤/厘米²) 纸与烘缸表面接触情况良好 (因为有压辊关系)，同时纸的一面始终贴着烘缸干燥，既不翻面，自然也无所谓双面自由蒸发的降温问题，所以传热系数较大，干燥效率很高，如再配合烘缸罩通高温高速热风，更能大大地提高单位缸面蒸发水分的能力。

单面光纸机的抄宽可达 5 米，车速能到 400~600 米/分。

二、自动引纸纸机

自动引纸纸机即大直径单烘缸纸机，俗名扬克纸机。

自动引纸纸机专门用于生产定量为 $20\sim 55$ 克/米²；游离纸料抄成的单面光薄型纸 (如广告纸、车票纸、火柴盒纸和糖果包装纸等) 和 $8\sim 20$ 克/米² 的薄纸和卫生用纸。

自动引纸纸机的网部有用长网的，也有为圆网的，图 2-3-174 表示一长网自动引纸纸机。

压榨道数根据需要决定，一般压榨部只有一道压榨。引纸毛毯 (定量 $1600\sim 1800$ 克/米²) 沿着上伏辊、上压榨辊、压辊途径运行，从铜网上将湿纸揭下送入压榨，再经压辊 (相当于圆网纸机的托辊) 将毯上湿纸贴到大烘缸表面上。烘缸上不包毛毯，烘缸内蒸汽压力为 $6.86\sim 7.84\times 10^5$ 牛顿/米² ($7\sim 8$ 公斤/厘米²)，有时更提高到 $7.84\sim 9.81\times 10^5$ 牛顿/米² ($8\sim 10$ 公斤/厘米²)。

一道压榨烘缸直径为 3.2 米的自动引纸机，在生产定量为 $20\sim 40$ 克/米² 纸时，车速为 120~150 米/分；如用两道压榨，而烘缸直径为 5 米时，车速可提高到 300 米/分；如果生产薄卫生用纸，使用蒸汽压力为 $8\sim 11$ 公斤/厘米²，车速更可提高到 700~900 米/分；个别情况甚至达到 1100 米/分以上。

由于这种纸机使用的纸料打浆度一般都比较低，网部容易脱水，纸与烘缸表面接触

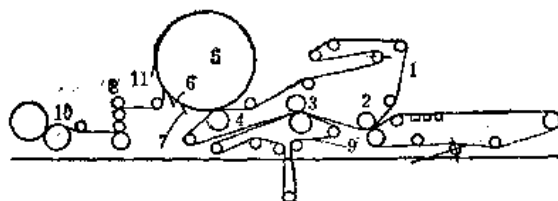


图 2-3-174 自动引纸纸机

1—引纸毛毯 2—上伏辊 3—压榨 4—压辊 5—大烘缸
6—起皱刮刀 7—清洁刮刀 8—压光机 9—下毛毯
10—卷纸机 11—剥离刮刀

情况良好，而蒸汽压力又高，所以纸机的干燥能力能够达到 35~50 公斤水/小时·米² 有效面积，干燥热效率可达 92%，而蒸汽消耗量只有 1.33 公斤/公斤纸。

在这里，附带讲讲有关皱纹纸生产的问题。

有些薄纸为了要有较大的柔软性和伸长性，应当让它起皱(如卫生用纸、餐巾纸、皱纹包装纸等)，纸的起皱可在特别的皱纹机上或纸机上完成。

纸在起皱前长度 l_1 与起皱后长 l_2 之差值与皱纹纸长度 l_2 之比称为皱折度(以百分率表示)：

$$\alpha = \left(\frac{l_1 - l_2}{l_2} \right) \times 100(\%) \quad (2-3-106)$$

皱折度又与纸在起皱前后的速度 v 和单位面积绝干纸重 G 有关，即

$$\alpha = \left(\frac{v_1 - v_2}{v_2} \right) \times 100(\%) \quad (2-3-107)$$

和

$$\alpha = \left(\frac{G_2 - G_1}{G_1} \right) \times 100(\%) \quad (2-3-108)$$

普通卫生纸的皱折度为 15~30%。

以往生产皱纹纸是在特殊的皱纹机上进行。从卷筒退下来的纸先增湿到干度仅为 50~60%，进到起皱烘缸，利用刮刀刮下时，使之起皱，然后引到干燥烘缸加以干燥，最后卷成皱纹纸卷筒。纸在起皱烘缸的干度为 75~85%，通过烘缸干燥到 93~95%。这种办法生产的皱纹纸，其皱折度决定于纸的定量和含水量、刮刀倾斜度和厚度、起皱缸和干燥缸以及卷纸机之间的速度差。由于纸在干燥和卷纸时受到牵引，纸有一定的伸长，因而造成皱折度的减小。

现在皱纹纸多直接在纸机上生产，一方面简化了生产过程，同时纸有较大的塑性，而且皱纹比较持久。

纸机上生产皱纹纸又有湿法、半干法和干法。

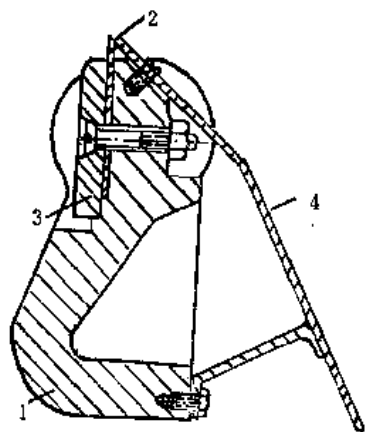


图 2-3-175 刮刀

1—刀架 2—刮刀 3—刀座 4—调节板

距较大。

锯片钢刮刀厚 1.0~1.5 毫米，与烘缸接触点的切线呈 30~35°，压在缸上的线压保持在 $4.90 \sim 7.35 \times 10^2$ 牛顿/米(0.5~0.75 公斤/厘米)之间。此外，也有采用 8~12

湿法是在最后一道压榨(一般多在反压处)或多缸纸机的第一个烘缸上用刮刀将干度仅为 38~40% 的湿纸，在车速不大于 250~300 米/分情况下刮起皱纹。湿法生产的皱纹纸皱纹较细，纹距小，有很好的柔软性和伸长能力。

半干法是在自动引纸纸机的大烘缸上(当纸的干度为 75~85%，车速不超过 650 米/分的情况下)用刮刀(见图 2-3-174 中下和图 2-3-175)刮起皱纹，然后引到普通烘缸上干燥。

干法是在大直径单烘缸上当纸的干度为 95~97%，纸机烘缸车速不大于 750 米/分情况下用刮刀刮起皱纹。干法生产的皱纹纸皱纹较粗，纹

毫米铜质刮刀的。

三、干 法 纸 机

生产弹性大、机械强度高(特别是撕裂度和耐折度)、吸收性和透气性强的纸,多用长纤维的植物纤维(棉、麻等)、合成纤维(粘液人造丝、尼纶、卡普纶等)和矿物纤维(石棉、玻璃纤维、矿棉等)为原料。由于植物纤维太长和非植物纤维的本身特性,纤维在水中不易分散,容易絮聚,因而湿法不便抄造,目前采用干法造纸。

长纤维纸大量作为工业技术用纸,广泛应用在各种工业中,石棉和玻璃纤维纸可作电气绝缘、耐热和过滤材料,合成纤维和棉纤维或木浆能够生产出纺织代用品(如花岗布、描图布、胶布、砂布等),棉纤维和短绒可以制出轮转印刷纸、代革纸、花岗石纹纸、蜡纸、云母带纸等,破布和废纸可作油毡原纸。

干法造纸有梳散式和气流式两种,前者多制成纵向强度大的长纤维纸,后者生产的纸纵横向强度相差不大。

1. 梳散式干法纸机

梳散式多用棉短绒和其他植物纤维或合成纤维为原料,纤维长 25~48 毫米,生产纸的定量在 10~60 克/米² 之间,厚度为 25~100 微米。

棉绒开包打散后,先用碱煮、水洗、稀酸中和、肥皂水洗、离心脱水和干燥进行脱脂,作成再制浆,再用碎解机碎解和净化,最后在成型机上抄成薄棉卷筒。

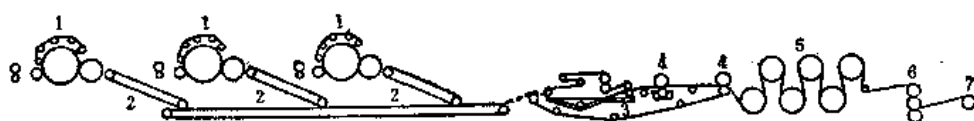


图 2-3-176 梳散式干法纸机

1—梳棉机 2—传送带 3—施胶槽 4—压榨 5—干燥烘缸 6—压光机 7—卷纸机

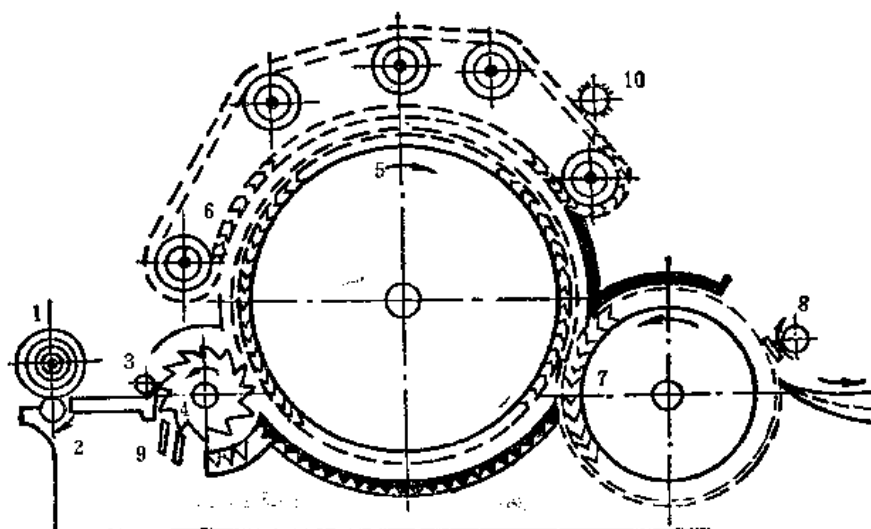


图 2-3-177 梳棉机

1—棉卷筒 2—开卷辊 3—给料辊 4—齿轮 5—梳棉辊 6—梳棉带
7—压棉辊 8—打辊器 9—刀 10—刷子

梳散式干法纸机由成形、施胶、干燥、压光和卷纸五个工序组成。图 2-3-176 表示的干法纸机，成形部共有三台梳棉机。

梳棉机与一般纺织工业中所用的相同(图 2-3-177)，其中各个辊子的速度分别为：齿辊 9~10 米/秒梳棉辊~11.5 米/秒，梳棉带 0.06~0.1 米/分，打辊器的转速为 600 次/分。

经过梳棉机梳开了的纤维落到传送带上，成为一连续的带状纸层。通过施胶槽后，由下面的铜网和上面的毛布夹着经过压榨辊，一方面挤去多余的胶液，同时将纸压紧，以后按一般纸的生产过程加以干燥、压光和卷取。

这种干法造纸施胶多用淀粉、水玻璃或合成树脂作粘合剂，使纤维粘结在一起，形成较强的纤维结合，从而提高纸的强度。一般多用淀粉胶液，用量为纤维重量的 12~15%。

每台梳棉机梳出纤维抄成纸后定量为 5~15 克/米²，如用 3~4 台梳棉机并联，纸的最大定量为 60 克/米²，这种梳散式干法纸机的车速最大不超过 25 米/分，生产能力既

低，对于原料还有一定的限制，是其缺点。

2. 气流式干法纸机

这种干法造纸是用空气作为介质，将纤维加以分散，然后在真空作用下沉降到网上，成为薄的纸层，以后同样经过施胶、干燥和整理成为卷筒纸(图 2-3-178)。

纸机的成形部有梳理和分散纤维的装置(2和 2')。棉卷筒由开卷辊或石棉、玻璃纤维由给料仓送至第一进料台(图 2-3-179)，通过给料辊转到承受辊，被转速为 1000 转/分左右、线速为 8~10 米/秒的齿形承受辊梳开升起，再被转速为 1700 转/分、线速为 11~15 米/秒的钢丝圆刷梳开，同时借它的离心力和刮刀的作用，经过罩子到达网辊上，由于真空抽吸作用成为疏松的纤维层。以后又再通过压辊送到第二进料台，转入第二梳散装置，重新被齿形承受辊和钢丝圆刷梳散在空气中，经沉降室被真空箱吸在铜网上成为纸层。以后通过施胶压榨、干燥，卷成卷筒干法纸。

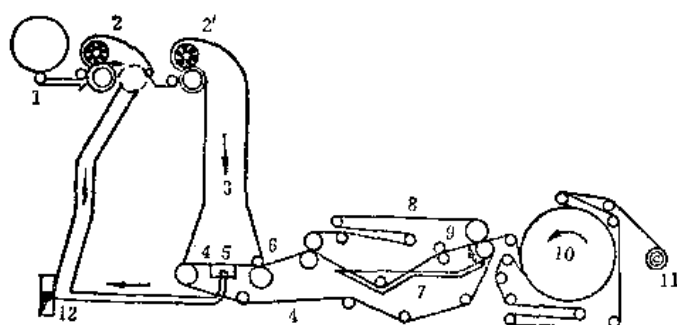


图 2-3-178 气流式干法纸机

- 1—开卷辊 2,2'—梳理和分散室 3—沉降室 4—铜网 5—真空泵 6—加
压辊 7—施胶槽 8—毛布 9—压榨
辊 10—烘缸 11—卷纸机 12—
抽风机

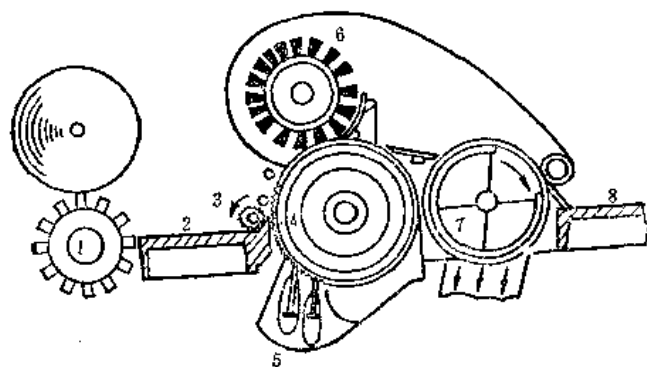


图 2-3-179 梳理分散纤维装置

- 1—开卷辊 2—第一进料台 3—给料辊
4—齿形承受辊 5—刮刀 6—刷子 7—
网辊 8—第二进料台

这种气流式干法纸机可用各种不同的纤维原料(包括石棉纤维、玻璃纤维和各种合成纤维),纤维长度超过2~3毫米,最长可达48毫米。生产纸的定量由8到150克/米²,车速可达50米/分,如果将上述装置儿套(2~4)并联,则车速更可提高到100米/分以上。

气流式干法纸机生产的纸,纵横向强度差值很小,一般纵横向裂断长的比值为1:0.7~0.8。而上述梳散式干法生产的纸,纵向强度比横向大6~7倍。

第五节 造纸机的传动

一、纸机传动的要求和速比

纸机的传动是变速传动,包括有伏辊、下压辊、烘缸、压光机下辊和卷纸缸的传动。

纸机根据生产纸种的要求,虽然已经分成了许多类,但一台纸并不限于只生产一个品种。为了适应不同纸种和定量改变的需要,纸机传动要求有一较大的速度变化范围。纸机最低车速和最高车速之比,称为传动速比。一般纸机的速比为1:2~6。生产中变化较少的纸机(例如新闻纸纸机),速比为1:2,印刷纸和书写纸的纸机为1:4,而生产品种变化较多的工业技术用纸和高级纸纸机,传动比可高到1:6,个别情况甚至速比达到1:10。

造纸过程中,有时由于浆料配比、纸料性质、和纸机运转等情况的改变,纸机速度一般应有10~15%的调速范围。

纸机车速(v)和抄纸定量(q)之间,有下列关系存在:

$$\Delta q/q = \Delta v/v \quad (2-3-109)$$

为了保证生产纸的定量能够在许可公差范围之内(纸的 $\Delta q = \pm 3 \sim 5\%$,纸板为 $\pm 6 \sim 10\%$),要求纸机车速稳定,速度只能在一定的许可范围内波动,通常生产纸时,车速偏差 Δv 不超过 $\pm 0.5 \sim 1.0\%$,纸板不超过 $\pm 1.5 \sim 2.0\%$ 。

纸机传动还要保证能够准确地调整各个部分的速度。纸机上的纸受到牵引力的作用,在湿部产生纵向伸长,在干部,开始纸的纵向继续伸长,等到纸因干燥含水量降低以后,纸的纵向便由伸长转变成缩短,最后到压光机和卷取机又再表现为伸长,因此纸机各个部分的速度应当是不同的。

表2-3-24列举了印刷纸、书写纸、电容器纸和仿羊皮纸在纸机各个部分的速度相对差值。

由表可见,纸在伏辊处的伸长最大;压榨部次之;干燥部到卷纸机最小。但如用有真空伏辊,则伸长最大的部位不在伏辊而在压榨部。另外,粘状浆的纸在湿部有较大的伸长。

旧式纸机用一台定速式变速的交流电动机通过皮带轮、减速装置、齿轮等带动纸机各个分组。普通长网多缸纸机传动分为伏辊、一压、二压、三压、光压、烘缸一组、烘缸二组、烘缸三组、压光机、卷纸机等分组,普通双网双缸圆网纸机分为下压辊、第一烘缸、第二烘缸三个传动分组。

新式纸机也将纸机传动分成许多分组,分别用直流电动机带动。

表 2-3-24

纸机各部分的相对线速和速度差

部 位	粘状纸料纸 (电容器纸仿羊皮纸)		中等粘状纸料纸 (印刷纸、书写纸)	
	各部的线速 (%)	速 度 差 (%)	各部分的线速 (%)	速 度 差 (%)
伏 辊	89~91	-(9~12)	94~95.5	-(5.5~6.0)
一 压	94~95	-(5~6)	96~97	-(3~4)
二 压	97~98	-(2~3)	97.5~98	-(2~2.5)
三 压	98.5~99	-(1.0~1.5)	98.5~99	-(1.0~1.25)
干 燥 部	100	0	100	0
压 光 机	100.05~100.15	0~0.5	100.05~100.15	0~0.5
卷 纸 机	100.1~100.5	—	100.1~100.5	—

交流变速电动机的变速范围很小,不能适应较大速度变化的要求,而直流电动机则具有比较大的变速范围,调节车速和各分组的速比相当方便。

直流电动机的电源是通过变流器而来,变流器由交流电动机、直流发电机和激磁机组成。改变直流电动机的电枢电压或励磁电流都能调节纸机车速。

为了便于检修和更换铜网、毛毯和干布起见,除压光机与卷纸机外,其余各个分组传动都须有一 20~50 米/分的爬行速度。

二、单 电 动 机 传 动

上面讲到过,纸机传动分单电动机和多电动机传动两大类。

旧式纸机多用单电动机传动,通过天轴或地轴带动纸机各个传动分组运转。纸机各个分部的速度变化由变速器进行调节。

在单电动机传动方式中,纸机由一台定速或变速交流电动机带动,通过平皮带、三角带等传动装置带动纸机各个分组。

单电动机传动又分横轴式和纵轴式两种。根据传动主轴的布置,又有天轴和地轴之分,天轴传动无论是检修还是维护,都很麻烦,早已淘汰。地轴传动占地面积也不小,但是管理比较方便,所以不少纸机还采用地轴传动。

横轴式传动系统[图 2-3-180(1)]中,各个传动分组的速比采用锥形皮带轮调节,锥形轮的传动轴则靠离合器与纸机各分组的辊轴相连接(通常用摩擦式或滑块式离合器),以便调节各个分组的速比。

横轴式传动占地面积较大,同时由于皮带圆周速度较小,需用比较宽的皮带和皮带轮。现在横轴式传动也已逐渐趋于淘汰。

纵轴式传动[图 2-3-180(2)]是顺着纸机传动侧安装传动主轴,电动机与主轴可用皮带联接或者采用两端出头的电动机安装在主轴中间。主轴通过锥形轮、齿轮减速器等带动各传动分组的传动辊,离合器一般是安装在减速器的前面。

纵轴传动比横轴传动来得紧凑,便于维护检修,所以旧式的纸机多是用纵轴式地轴传动。

比较新一些的纸机,则是用三角带传动(图 2-3-181)。用无端三角带和三角带轮的

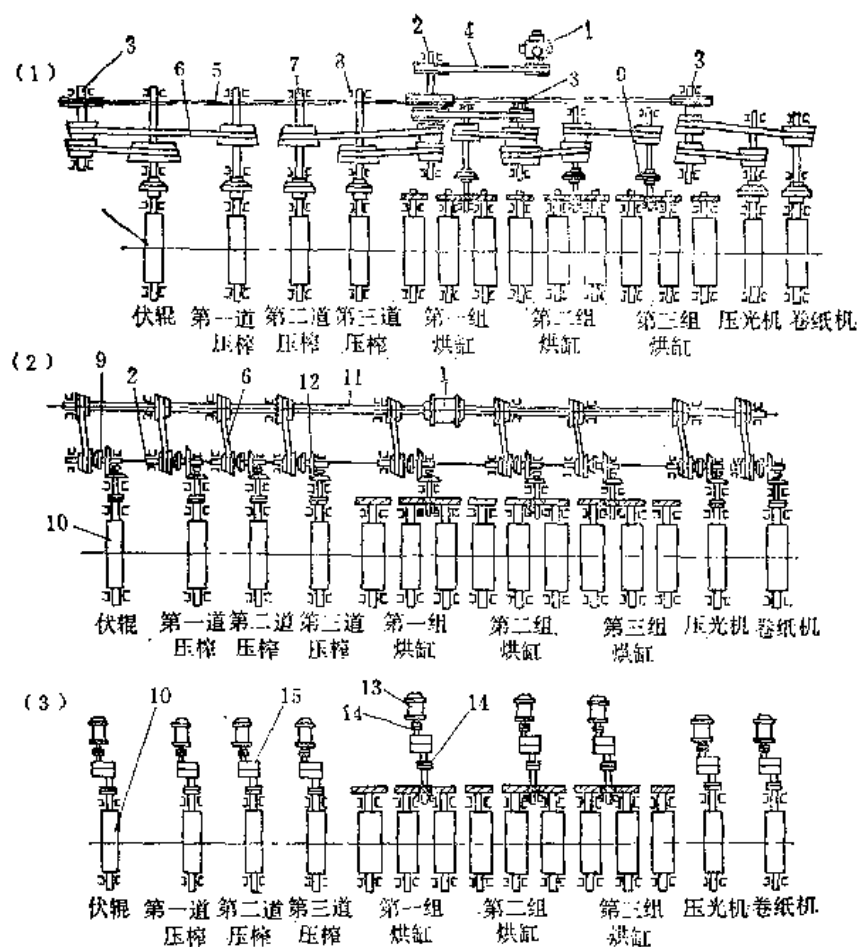


图 2-3-180 纸机传动

(1) 横轴式 (2) 纵轴式 (3) 多电动机传动

1—电动机 2—主轴 3—中间轴 4—传动皮带 5—传动绳索 6—皮带 7—传动轴
8—轴承 9—离合器 10—分部传动辊 11—纵轴 12—圆锥齿轮传动 13—分组电动机
14—弹性联轴器 15—齿轮减速箱

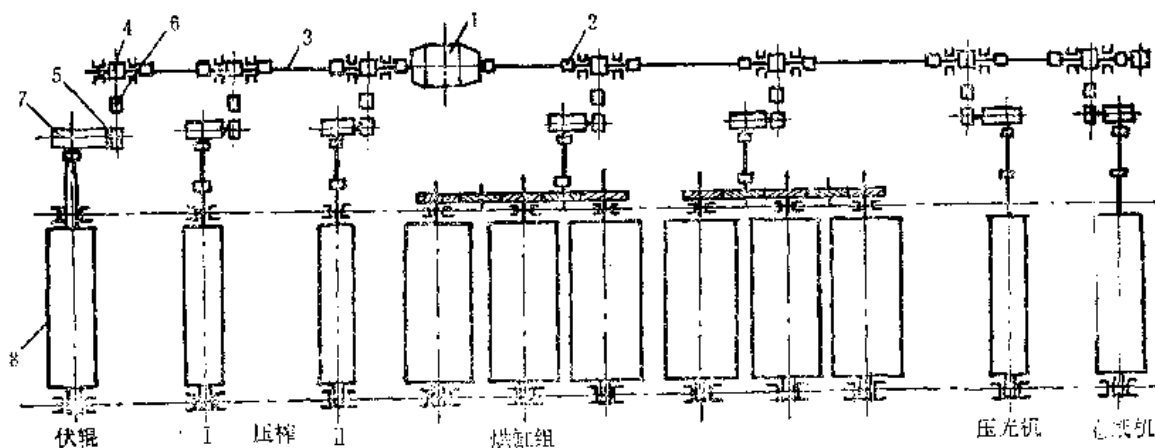


图 2-3-181 三角带纵轴传动

1—电动机 2—联轴节 3—纵轴(主轴) 4—主轴上的主动调速槽轮 5—减速器上的从动槽轮 6—紧带轮 7—减速器 8—分组传动辊

无级变速(图 2-3-182) 代替平皮带和锥形轮联接主轴与中间轴, 再通过齿轮减速器带动各分组传动辊轴。采用三角带-调速槽轮和减速器方式传动, 各分组速比可调节在 $\pm 10 \sim 18\%$ 范围之内。这种结构的传动适用于低、中速(最高 250~300 米/分)纸机, 能够高度正确地保持各个分部的速比。但它不适宜于高速造纸机。

高速纸机则广泛采用差动传动(图 2-3-183)。新式纸机使用的这种纵轴传动是用差动变速器代替锥形轮和减速器, 既可取得纸机运转可靠、又能不受各分组需用功率变化的影响, 保证各分组规定的速比。

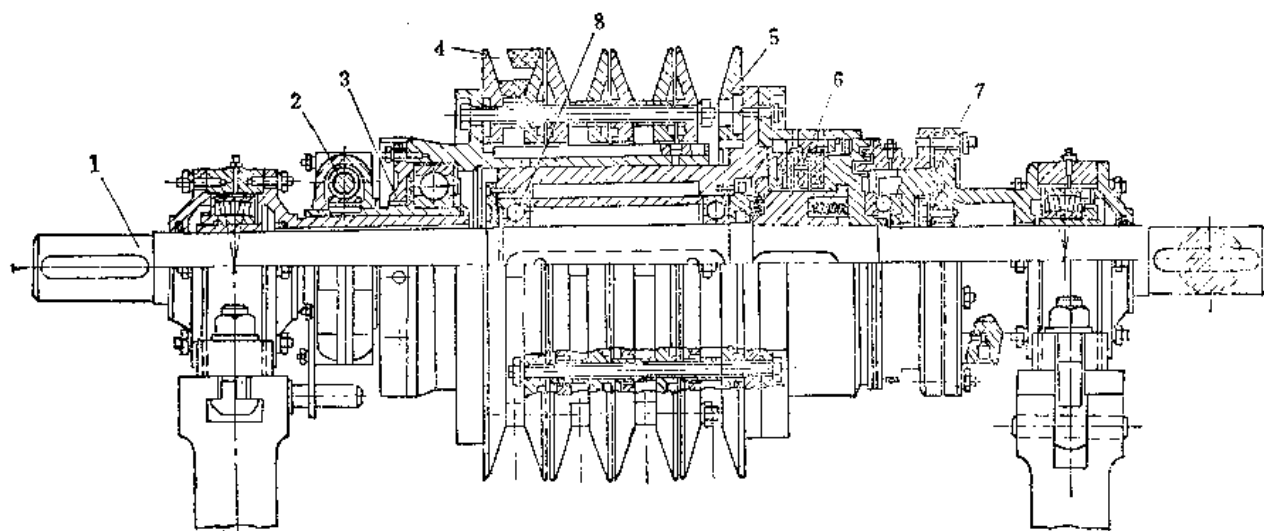


图 2-3-182 三角带轮无级变速

1—轴 2—蜗轮传动 3—螺纹套筒 4—活动槽盘组 5—固定槽盘组 6—盘式摩擦离合器 7—膜片 8—空转轴承

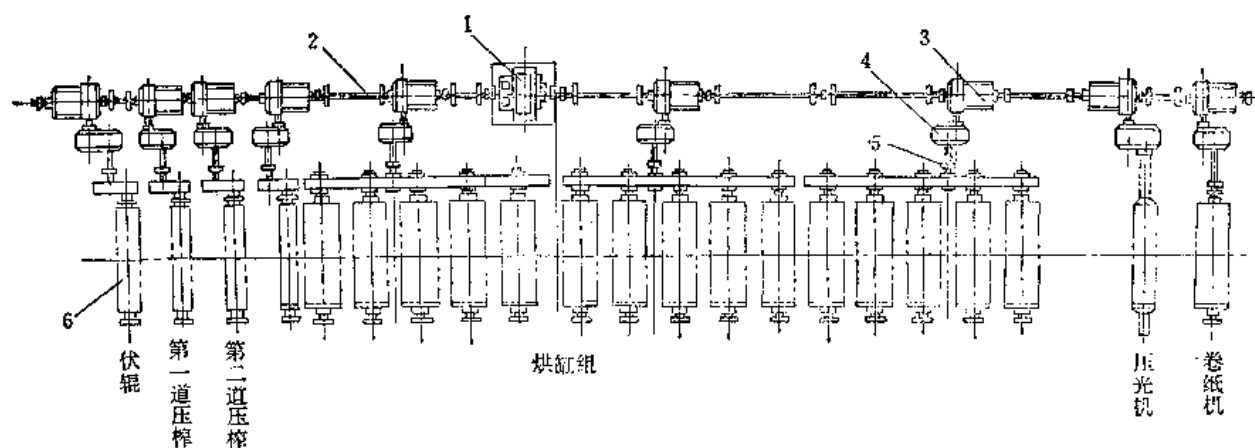


图 2-3-183 差动传动

1—电动机 2—纵轴(主轴) 3—带变速器的差动减速器 4—齿轮减速器 5—联轴节 6—分组传动辊

图 2-3-184 表示两种不同结构的差动变速器。

关于差动变速器的工作原理, 现以第一种结构的差动变速器[图 2-3-184(1)] 为例说明如下。装有齿轮 4(a) 的差动器第一半轴 2, 由纸机纵轴(主轴)通过斜齿轮 3 使之转动, 与此同时, 2 轴又通过无级变速器 6 和齿轮系 13、7、14 带动差动器壳体 5(H), 基于

轴 2 和壳体 5(H) 的转动, 齿轮 9(d) 又带动差动器第二半轴 8 转动, 最后由 8 轴借助于齿轮减速器或直接与纸机分部主动辊相连接。第二种结构的差动变速器的特点是: 2 轴通过无级变速器 6 和齿轮系 13、7、14 所带动的不是差动器壳体 5(H), 而是转动差动器第二半轴 8。另外, 差动器壳体 5(H) 是与纸机分部主动辊连接。

当差动器的第一半轴 2 的转速不变时, 随着壳体 5(H) 的转速变化, 8 轴转速亦因之而改变。壳体 5(H) 的转速, 由变速器 6 (图 2-3-185) 进行调节。摇动手柄可使一根轴

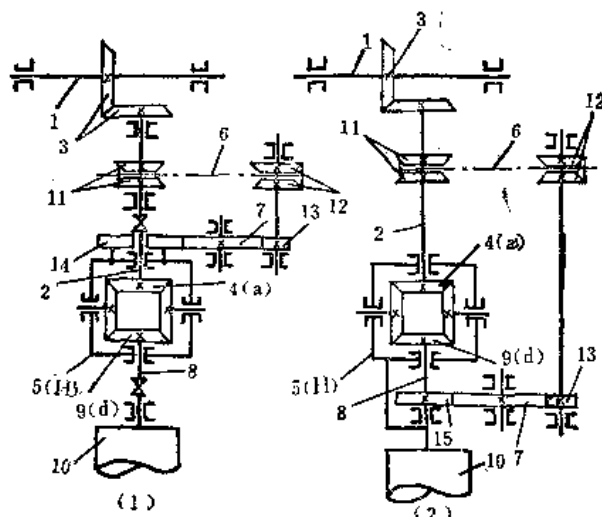


图 2-3-184 差动变速器

1—传动纵轴(主轴) 2—差动器第一半轴 3—斜齿轮 4(a)—齿轮 5(H)—差动器壳体 6—变速器 7—椭圆 (Z_3) 8—差动器第二半轴 9(d)—齿轮 10—分組 传动辊 11—变速器主动键轮 12—变速器从动键轮 13—变速器从动轴上的齿轮 (Z_1) 14—差动器壳体上的齿轮 (Z_2) 15—差动器第二半轴上的齿轮 (Z_2)

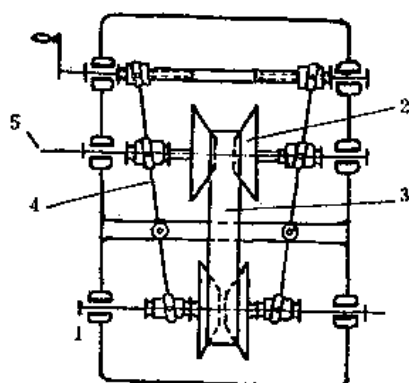


图 2-3-185 变速器

1—主动轴 2—变速器轮 3—变速器链 4—移动链轮机构 5—从动轴

上的一副链轮分开, 而使另一根轴上的第二副链轮靠拢, 因此在分开的链轮上链条处于较小的直径上, 而在靠拢的链轮上, 链条却是处于较大的直径上, 从而使变速器的从动轴在主动轴角速度不变的情况下作到无级变速。

如两副链轮的直径相同, 变速器的传动速比为:

$$i_{\min} = \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \quad (2-3-110)$$

及

$$i_{\max} = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \quad (2-3-111)$$

式中 D_{\max} 、 D_{\min} ——链条中心线可以达到的链轮最大和最小直径。

变速器的总变速比为:

$$k = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{D_{\max}^2}{D_{\min}^2} \quad (2-3-112)$$

三、多电动机传动

新式纸机多用多台直流电动机传动, 每个分组都有自己的电动机[图 2-3-180(3)], 在电动机和传动轴之间装有正齿轮减速器, 这种传动方式中不需要安装离合器, 而在各个

电动机与减速器之间装设弹性联轴器,以消除冲击负荷。

多电动机传动中用的是直流电动机,以便控制和改变各个分组的速度和速比。

和旧式纸机的单电动机传动比较,多电动机传动有下述一些优点:(1)保证纸机各个分部的速比有高度的准确性,并且易于调节;(2)具有比较高的传动效率,降低动力消耗10~15%。现将单电动机传动和多电动机传动的传动总效率比较如下:横轴天轴式单电机传动为0.6,纵轴天轴式为0.56,多电动机传动为0.7,三角带传动为0.8;(3)各个分组的负荷控制和传动的管理比较简便;(4)便于生产过程的自动控制和调节,节省非生产性时间,降低维护费用和节约劳动力。

多电动机运转的电源由一变流机组供给。各分组(即分部)直流电动机的调速按情况采取不同的方法,当纸机各组启动开到爬行速度或者升到工作速度时,是用改变直流电动机的电枢电压来达到,当各分组均已达到工作速度而需要调节各分组之间的相对速度时,可采取改变直流电动机的励磁电流。例如我国某纸厂的高速纸机,速度为150~456米/分,纸幅宽度为3.95米,主变流机组的直流发电机容量为900千瓦,额定电压为460伏,当电压为142伏时,纸机车速只有150米/分,电压提高到460伏,车速达456米/分。

至于圆网纸机的传动,在比较简单的单缸和双缸圆网纸机,一般都是应用横轴式传动方式,多网多缸圆网纸机则与普通长网纸机相似,采用定速或变速交流单电动机纵轴式传动或多直流电动机传动。最近国内也有应用交流电动机可控硅调速的多网多缸圆网纸机。

四、纸机传动的比较和发展

在纸机电气变速传动没有广泛应用之前,如上所述,纸机多用交流定速电动机通过总轴(天轴或地轴)传动的方式。鼠笼式异步电动机是纸机传动中常用的一种定速交流电动机,它具有结构简单、运行可靠、维修方便、价格便宜等优点,但一方面电动机本身调速困难,另一方面,整台纸机速度的改变是采用更换皮带轮的办法来调节,做不到无级变速,而且分部(分组)间相对速度的微调,是靠变动皮带或三角带在锥形皮带轮或槽轮上的位置,或者应用差动变速器等机械办法来实现。这种传动方式调节速度不很方便,另外还有机械设备复杂、庞大、占地面积大、维修工作量和费用大、生产也不安全等缺点。

采用绕线式代替鼠笼式异步电动机,虽然可以在转子电路中接入变阻器进行调速,但耗电量大,效率低,并且调速范围小,机械特性软,速度不稳定,接触设备易损坏,维修工作量大,同时,在纸机分部传动问题上,也存在有上述的缺点。

直流电动机分部传动,相对来说,是比较好的一种传动方式,可是直流电动机的结构复杂,价格较贵,运行可靠性差,维护也较麻烦。

可控硅技术的出现和发展,为交流电动机传动开拓了新的前景。

交流电动机可控硅传动调速具有:调速范围大、调速性能良好、节电、操作简便等优点,特别适合于大型高速纸机。

我国造纸机三化电气传动系列已设计有五个系列45品种的可控硅双闭环传动系统。

五、纸机传动的功率消耗

纸机消耗的功率大部分用在克服各种摩擦阻力，例如轴承的摩擦、刮刀对辊筒和烘缸的摩擦、铜网在真空箱面上的摩擦、真空伏辊和真空压辊中真空室密封体之间的摩擦、烘缸进汽头的摩擦等等。传动消耗的功率自然直接与纸机车速、抄宽、构造、轴承型式、规格和负荷等有关，而且还受操作条件的一定影响，所需功率可按各分部进行测定计算。通常计算纸机功率消耗有测定法和牵引力法两种方法。

测定法是按纸机每米宽度、每分钟车速大小参照下式计算纸机传动需要的功率：

表 2-3-25 纸机各部的单位功率消耗

长网纸机			圆网纸机		
部 分	k_1	k_2	部 分	$k_1^{①}$	$k_2^{②}$
网部 (全部)			圆网 (每个)	0.098	0.098
1. 薄包装纸、面巾纸	0.042	0.049	网辊或网辊压榨	0.007	0.098
2. 透明纸、证券纸	0.063	0.074	普通或真空辊	0.007	0.098
3. 新闻纸、印刷纸、牛皮纸			普通压榨或真空压榨	0.007	0.015
车速 < 350 米/分	0.063	0.098	毛毯真空辊	0.007	0.015
车速 350~600 米/分	0.084	0.098	毛毯真空箱	0.019	—
车速 > 600 米/分	0.084	0.108	压榨毛毯	0.007	—
4. 硫酸盐纸板	0.088	0.147	预压榨	0.012	0.196
水印辊		0.001			
普通压榨	0.024	0.030	普通压榨	0.024	0.030
真空压榨	0.029	—	真空压榨	0.029	—
光泽压榨	0.007	0.012	光泽压榨	0.007	0.012
施胶压榨	0.020	0.025	施胶压榨	0.020	0.025
洗毯真空辊	—	0.010			
干纸和干布烘缸			干纸和干布烘缸		
直径 1500 毫米 (每个)	0.0018	0.0027	直径 1500 毫米 (每个)	0.0018	0.0027
直径 1200 毫米 (每个)	0.0014	0.0021	直径 1200 毫米 (每个)	0.0014	0.0021
直径 1050 毫米 (每个)	0.0013	0.0020	直径 1050 毫米 (每个)	0.0013	0.0020
直径 900 毫米 (每个)	0.0011	0.0017	直径 900 毫米 (每个)	0.0011	0.0017
8~9 辊压光机			两辊压光机	0.009	0.012
定量 < 100 克/米 ²	0.034	0.049	8~9 辊压光机		
定量 100~150 克/米 ²	0.055	0.059	定量 < 100 克/米 ²	0.034	0.049
定量 150~200 克/米 ²	0.055	0.079	定量 100~150 克/米 ²	0.055	0.059
定量 > 200 克/米 ²	0.055	0.098	定量 150~200 克/米 ²	0.055	0.079
卷纸机			定量 > 200 克/米 ²	0.055	0.098
定量 < 200 克/米 ²	0.008	0.012	卷纸机		
定量 > 200 克/米 ²	0.008	0.020	定量 < 200 克/米 ²	0.008	0.012
硫酸盐浆的纸	0.008	0.020	定量 > 200 克/米 ²	0.008	0.020
刮刀 (每片)			刮刀 (每片)		
金 属	0.001	—	金 属	0.001	—
层压塑料	0.0015	—	层压塑料	0.0015	—

① k_1 供单电动机传动计算功率需要之用 (附加 15% 的主轴传动损失)。

② k_2 供多电动机传动计算各部功率需要之用。

$$N = kbv \text{ (千瓦)} \quad (2-3-113)$$

式中 k ——单位功率消耗 $\left(\frac{\text{千瓦}}{\text{米/分} \cdot \text{米}}\right)$;

b ——纸机宽度(米);

v ——纸机车速(米/分)。

单位功率消耗与纸机种类、构造特点、操作条件等有关, 兹将普通长网纸机和圆网纸机的单位功率消耗列于表 2-3-25。

单位功率消耗选用得当, 计算结果接近于实际的功率消耗。

关于牵引力计算法, 可参考其他专业书籍, 这里不赘述。

第六节 纸的完成整理

纸的完成整理包括超级压光、复卷、切纸、选纸、数纸、打包和贮存等过程。但纸有平板和卷筒之分, 又有超级压光和机械压光之别, 因而完成整理的具体内容有所不同。例如机械压光的纸, 不用空气调理和超级压光、平板纸可免复卷, 但须增加切纸、选纸和数纸的过程。

一、超 级 压 光

超级压光是在纸机压光的基础上, 进一步提高纸的平滑度和光泽度, 同时增加紧度和改善厚度均匀性。

(一) 超级压光机

超级压光机(图 2-3-186)和前面所讲的压光机相似, 主要不同的地方是前者辊数较多, 线压较大, 车速较快, 除铁辊外, 还有纸辊。

超级压光机的下辊通常是主动辊, 通过减速装置与电动机联接。卷纸则由单独的电机传动。高压光辊辊数达到 12 辊时, 则多以第三或第五辊(由下而上计算)为原动辊。

超级压光机的领纸速度一般为 10~15 米/分, 而工作速度在 600 米/分左右, 为此, 某些超级压光机安装有两台电动机, 一台是带有蜗杆减速器、功率较小的爬行电动机, 专供领纸时使用, 另一台则是供工作速度用的主电动机。超级压光机所需的功率很大, 例如一台 4.2 米宽的超级压光机(车速 600 米/分)需要功率为 400~450 千瓦。

超级压光机的加压、提升机构基本上可分杠杆加压螺杆提升和油压加压提升两类。

超级压光机有单面和双面超级压光之分。前一种超级压光机的钢辊和纸辊相间排列, 辊子总数为奇数[图 2-3-187(2)], 后一种超级压光机有一衬纸辊相连排列, 辊子总数为偶数[图 2-3-187(1)]。

另外, 按超级压光纸种的不同, 又可分为文化用纸用的超级压光机和技术用纸用的超级压光机。文化用纸(印刷纸、书写纸等)用的超级压光机以提高平滑度和光泽度为主, 特点是辊面宽(4.2 米或更宽)、速度高(车速可达 900~1100 米/分, 高出纸机车速 50~80%)、辊数少(一般只有 8~12 个)、线压低(下面两个辊子之间的线压为 $2.45 \sim 2.94 \times 10^5$ 牛顿/米, 250~300 公斤/厘米), 而纸辊多用羊毛为原料。工业技术用纸(如

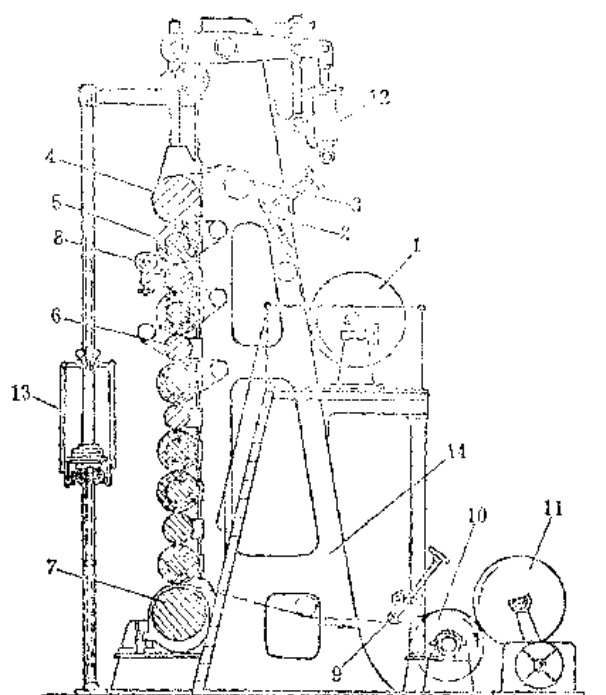


图 2-3-186 超级压光机

1—纸卷 2—展纸弧形板 3—展纸辊 4—上辊 5—纸
辊 6—金属辊 7—下辊 8—引纸辊 9—展纸弧形板
10—卷纸辊 11—纸卷 12—加压、提升装置 13—操作
升降台 14—机架

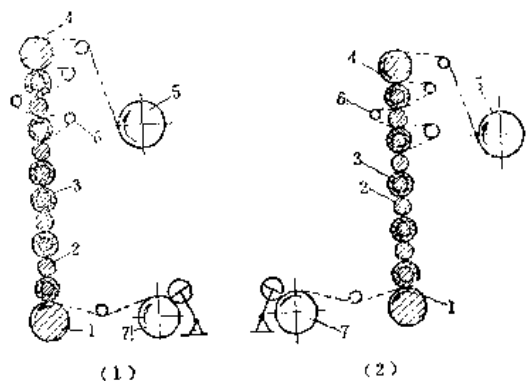


图 2-3-187 超级压光机示意图

(1) 双面压光 (2) 单面压光

1—下辊 2—中间铁辊 3—纸辊 4—上
辊 5—退纸机 6—导纸辊 7—辊式卷
纸机

电容器纸、仿羊皮纸等)用的超级压光机,主要是提高纸的紧度、厚度均匀性和在某些情况下增加纸的透明性(如仿羊皮纸),因此这一种超级压光机的辊面较窄(一般为1000~2000毫米)、速度较低(150~450米/分)、辊数较多(10~16个,其中电容器纸较少,仿羊皮纸最多),辊间最大线压高达 $4.90 \sim 5.88 \times 10^5$ 牛顿/米(500~600公斤/厘米),纸辊是用石棉纸作成。此外,铁辊内还可通入蒸汽热水或冷水(上、下辊除外),蒸汽压力为 $5.88 \sim 9.81 \times 10^5$ 牛顿/米(6~10公斤/厘米²)。

超级压光机的纸辊是用特殊的纸制成,这种纸的主要成分是棉、麻、毛、硫酸盐木浆或石棉纤维。文化用纸用的羊毛纸辊,羊毛纸含10~25%的羊毛,其余为麻浆和棉浆(有时用硫酸盐浆代替),提高纸中羊毛配比,可以增加辊子的弹性,但降低辊子的硬度和耐热能力。工业技术用纸用的石棉纸辊,石棉纸含有50~100%石棉,其余为麻浆、棉浆或硫酸盐浆,并加有10%的胶乳和淀粉,增加纸中石棉配比,可以提高纸辊的硬度和耐热性能。

超级压光中直接影响纸张质量的是压光辊,故辊面必须平滑,纸辊必须牢实,上下辊要有适当中高。现在新式的超级压光机,最下一个压光辊也是采用浮游辊,这样辊子就不必磨中高了。

超级压光机在使用前,须先空运转,以便逐渐提高纸辊的硬度和紧度,否则纸辊受压后变形太大,降低了纸辊质量和缩短使用时间。因为纸辊每转一次,其表面上任何一点都要发生四次变形,产生的应变功将会变为热能,当热能达到一定限度时,就有可能

使纸辊表面受到破坏。一般空运转时间为 40~60 小时(羊毛纸辊较短,石棉纸辊较长)。开始空运转时不许加压,速度宜低,以后逐渐提高压力和增加速度。新磨过的辊子也要

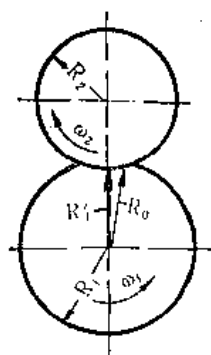


图 2-3-188 纸辊的径向变形

经过空运转,时间为 4~8 小时。长时间的停机,一定要把辊子抬起,短时间停机可不抬辊子,但不能加压。每次开车,最好能先空转 10 分钟。

超级压光的作用,主要是靠压光辊间的压力和摩擦两种作用。前一种增加纸的紧度,降低厚度,对于纸的平滑度也有一定程度的影响,后一种作用则是以提高光泽度为主。

纸辊在压光时,产生径向变形和切线变形。

由于纸辊的径向变形,铁辊和纸辊之间存在有一定的变形速度差。设纸辊为原动辊,铁辊为被动辊,则纸辊在接触区外的圆周速度为 $v_1 = R_1 \omega_1$ (图 2-3-188)。

当纸辊与铁辊接触时,如 $R'_1 < R_0 < R_1$, 铁辊的角速度决定于纸辊的半径 $R_0 = R_1 - \Delta R_1$, 这时铁辊的角速度:

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{R_1 - \Delta R_1}{R_2} \quad (2-3-114)$$

而圆周速度: $v_2 = \omega_2 R_2 = \omega_1 (R_1 - \Delta R_1)$ (2-3-115)

因此,两辊的圆周速度比(相对滑动)为:

$$v_1/v_2 = R_1/(R_1 - \Delta R_1) \quad (2-3-116)$$

圆周速度差为: $\Delta v = v_1 - v_2 = \omega_1 R_1 - \omega_1 (R_1 - \Delta R_1) = \omega_1 \Delta R_1$ (2-3-117)

从上式可以看出,铁辊和纸辊之间的相对滑动和车速无关,而是决定于纸辊的径向变形值和它的直径。

辊间滑动有正负之分。当纸辊为原动辊时,被动铁辊的圆周速度小于原动纸辊的圆周速度,这种情况称为辊间的正滑动。反之,如铁辊为原动辊,被动纸辊的圆周速度大于原动铁辊的圆周速度,这时称为辊间的负滑动。实验证明,超级压光机用羊毛纸辊时,相对滑动为 0.03~0.08%,提高压光辊间的线压,增加辊子的相对滑动。

至于纸辊切线变形形成的滑动不大,可以略而不计。

超级压光机除了上述作用以外,还能使纸的裂断长和耐折度略有提高,施胶度有所下降。一般纸经超级压光以后,纵向伸长 0.5~1.5%。印刷纸和书写纸在压光时,纸的宽度收缩不大,但电容器纸则为 1.5~3.0%。

(二) 影响超级压光的因素

除了上述的以外,还与纸的水分、压光线压、压光速度、辊子数目和硬度、辊子温度以及纸的组成等都有密切的关系。

1. 纸的水分

纸中含有平衡水分。平衡水分的多少,决定于纸的组成、纤维种类、胶料填料用量以及外界空气的相对湿度和温度。

从表 2-3-26 可以见出,提高外界空气的相对湿度,纸的水分增加,在相同的相对

表 2-3-26

纸的平衡水分与相对湿度的关系

纸种	定 量 (克/米 ²)	灰 分 (%)	施 胶 度 (毫米)	打 浆 度 (°SR)	当空气有下列相对湿度时, 纸的水分(%)				
					40	55	65	75	85
含 破 布 浆 的 纸									
滤纸	75	原有	—	26	5.9	6.8	7.8	8.4	11.0
卷烟纸	14	原有	—	88	7.2	7.8	8.9	9.3	11.5
字典纸	45	21	0.25	50	4.6	5.3	6.0	5.5	8.6
亚 硫 酸 盐 浆 生 产 的 纸									
打孔纸板	175	原有	0.50	24	6.8	7.5	8.3	9.3	11.3
一号书写纸	70	6.5	1.75	40	6.0	6.8	7.7	8.3	10.7
一号石印纸	120	10	1.50	35	6.1	6.8	7.5	8.3	9.9
凸版印刷纸	90	20	0.25	40	4.9	5.75	6.25	6.7	8.5
硫 酸 盐 浆 生 产 的 纸									
电缆纸	100	原有	—	35	7.0	8.2	9.4	9.9	12.8
电容器纸	10	原有	—	97	8.2	9.3	10.2	11.0	14.3
含 磨 木 浆 的 纸									
二号书写纸	65	6.0	1.5	50	6.6	7.4	8.3	9.0	10.8
新闻纸	50	5.0	—	60	7.8	8.6	9.1	10.4	12.8

湿度条件下, 含磨木浆和硫酸盐浆的纸, 由于有较多的半纤维素, 纸的平衡水分最高, 亚硫酸盐浆生产的纸次之, 破布浆的纸最低。填料含量愈多, 纸的平衡水分愈低。松香胶料施胶使纸的水分含量稍有下降。影响程度最大的是纸料的打浆度。

增加纸的水分含量, 纤维吸湿润胀, 因而提高了柔性和塑性, 故能增进超级压光的效果。但纸的水分也不宜过多, 否则在压光时因为压溃了的纤维粘在一起, 有变黑和产生透明点的危险, 所以纸在超级压光之前应有适当的水分含量。兹将各种纸在超级压光时最适宜的水分含量列于表 2-3-27。

表 2-3-27

各种纸在超级压光时最适宜的含水量

纸 种	定 量 (克/米 ²)	压 光 时 最 适 宜 的 含 水 量 (%)
一号印刷纸和书写纸	70~80	5.5~7.0
石印纸和一号凸版印刷纸	90~160	6.0~8.0
含破布浆的高级纸	80~120	5.0~6.5
二、三号印刷纸和书写纸	60~65	6.0~8.0
香烟包装纸、纱管纸和含磨木浆的其他纸	90~200	7.0~10.0
卷烟纸	14~16	10~12
电容器纸	7~20	15~25
描图纸	40	24~28

从纸机干燥部出来的纸, 含水量一般不高, 例如化学浆和破布浆生产的高级纸只有 4~5%, 含磨木浆或用硫酸盐浆生产的纸也只有 5~6%, 对于超级压光来说都嫌太低,

故应将纸增湿到超级压光最适宜的含水量，然后加以压光。

纸的增湿办法有空气调理和增湿机械两类方法。前者是将纸放在一定温度和相对湿度的空气调理室中贮存 2~3 天，使其纸的含水量增高和水分均匀分布。这种方法需要很大的贮纸面积，故目前除处理高级纸外，已少使用。

增湿机械计有三种：毛刷增湿机，如图 2-3-189(1) 所示。是用旋转圆刷将辊子带上的水撒到纸面上；气动增湿机则借扇形喷雾器喷水于纸面，喷雾器所用的水和空气压力为 $9.81 \sim 14.7 \times 10^4$ 牛顿/米² ($1.0 \sim 1.5$ 公斤/厘米²)；目前应用得最多的是辊式增湿机 [图 2-3-189(2)]。当纸通过一对胶辊压榨时，下压辊将水带到纸上，纸的增湿程度

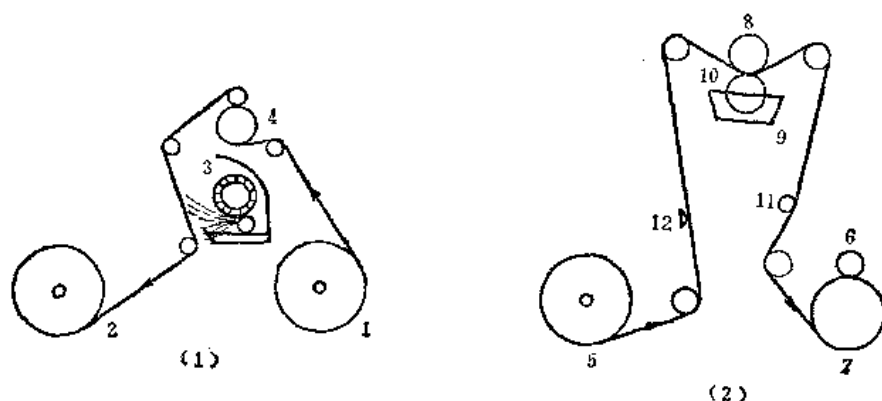


图 2-3-189 增湿机

(1) 毛刷式 (2) 辊式

1、5—退纸机 2—卷纸机 3—毛刷 4—紧纸辊 6—压辊 7—纸卷 8—胶辊 9—水槽 10—喷水管 11—弧形辊 12—展纸辊

可用辊间线压和下压辊给水量进行调节。

增湿机只将水带上纸的一面，等到卷成卷筒后，纸的另一面同样也得到增湿。

2. 辊间压力

随着辊间压力的增加，纸辊径向变形加大，因此产生较大的辊间滑动，有利于超级压光作用。图 2-3-190 表示辊间线压与纸性质的关系。提高辊间线压，化学浆的纸有以下的规律性：随着辊间线压的增加，纸的光泽度和透明性直线增长；平滑度的增加比光

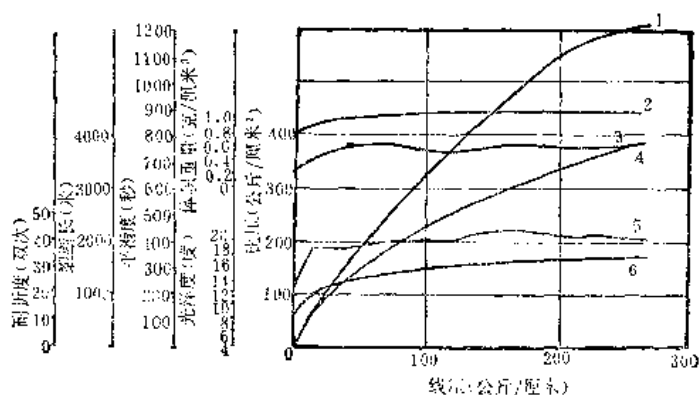


图 2-3-190 辊间线压与纸性质的关系

1—平滑度 2—紧度 3—裂断长 4—比压 5—耐折度 6—光泽度

泽度快些，但呈衰减曲线；厚度与透气度下降，而紧度呈衰减曲线增加；机械强度——裂断长和耐折度有所提高，撕裂强度却有降低。

3. 压光辊数

增加压光辊数，加大辊间的线压力，同时也相当于增加了纸的压光时间，故结果综合表现为纸的平滑度和光泽度大有提高。图 2-3-191 表示线压和辊数对纸平滑度的影响（试验是用证卷纸在七辊实验超级压光机上进行）。可见在车速不变时（ $v=30$ 米/分），纸与铁辊接触一面（正面）的平滑度随着辊数和线压的增加有着显著的提高，但辊数超过 $n=5$ 时，平滑度增长不多，故辊数对压光的影响有一定的限度，原因是在车速不变时，纸在压力作用下变形所需时间是一定的，如增加车速则必然要增加辊数才能保持纸的平滑度不致下降。

至于接触纸辊的一面（反面），随着线压增加，开始平滑度上升，等到线压超过 $3.92 \sim 5.88 \times 10^4$ 牛顿/米（40~60 公斤/厘米）以后，反而下降。原因是压力过大时，反而将纸辊印痕压到纸上，所以降低了纸的平滑度。

另外，增加压光辊数能使纸的紧度增加，纵向伸长，纸辊硬度愈小，纸的伸长愈大。

4. 压光速度

适当增加超级压光机的车速，可以提高纸的平滑度和光泽度（图 2-3-192）。压光速度增加，虽然纸受压光作用的时间减少了，但因辊子发热关系，取到良好的压光效果。实验证明：当超级压光机车速由 30 米/分提高到 190 米/分时，辊子温度从 26° 增加到 72°C 。可是如果辊子温度保持不变，提高车速将会降低超级压光的效果。例如在线压为 6.86×10^3 牛顿/米（70 公斤/厘米）时，如压光速度由 30 米/分增加到 160 米/分，平滑度从 300 秒降到 160 秒，提高辊间线压到 16.2×10^3 牛顿/米（165 公斤/厘米），则平滑度降低较少，从 460 秒降到 300 秒。

5. 辊子温度

压光时纸辊变形的结果，由摩擦力所作的功转变为热能，引起纸辊和铁辊温度升高。有时，中间铁辊还特别通入压 $4.90 \sim 6.86 \times 10^5$ 牛顿/米²（5~7 公斤/厘米²）的蒸汽，以便在超级压光时，增加纸的光泽度、平滑度和透明性。生产防油纸和其他技术用

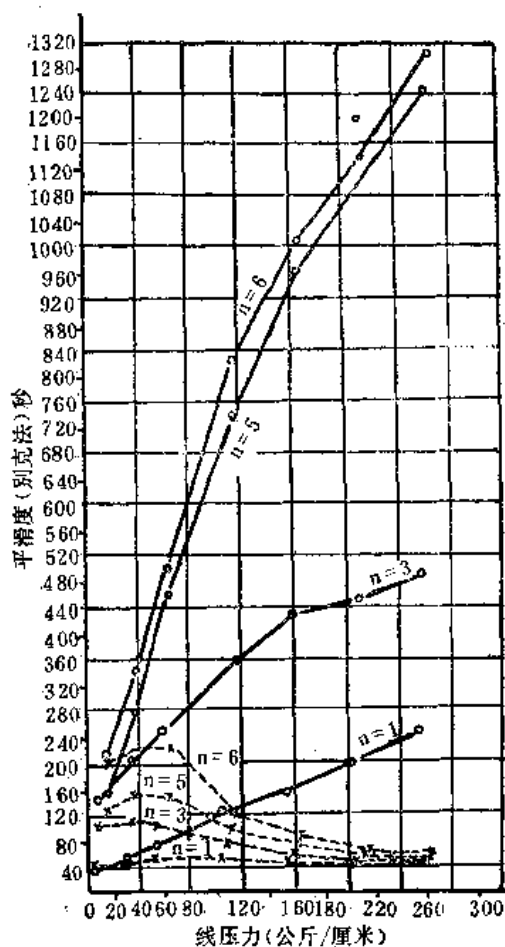


图 2-3-191 辊数与平滑度关系[图中实线代表接触铁辊一面(毯面)；虚线代表接触纸辊一面(网面)]

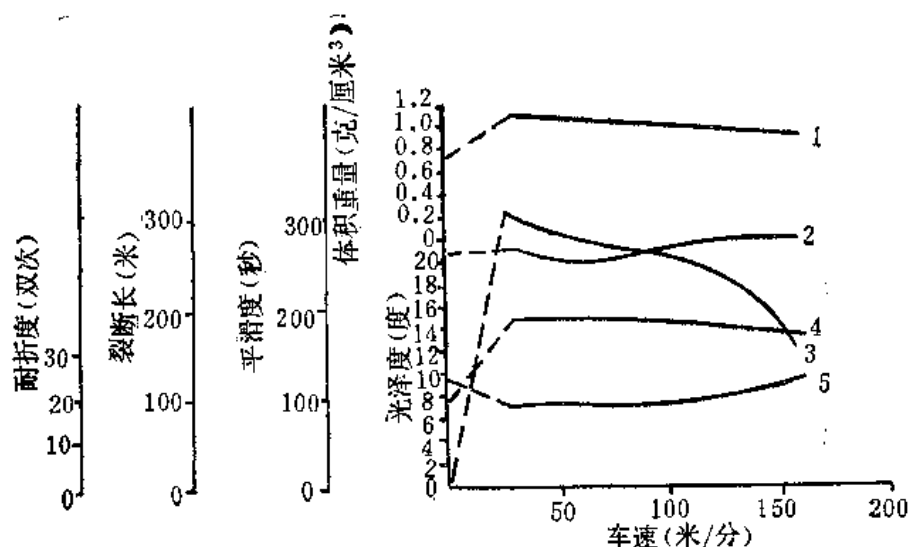


图 2-3-192 压光速度对纸性质的影响 (辊子温度不变)

1—紧度 2—裂断长 3—平滑度 4—光泽度 5—耐折度

纸，为了取得较大的紧度和良好的透明性，一般多通蒸汽加热铁辊。上面讲到，纸在压光之前需要增湿提高含水量，特别是在生产透明纸和技术用纸。加热铁辊同时还可以对纸进行干燥，通常纸在超级压光之后，含水量应在 7% 左右。

但辊子温度过高，也会产生不利的影响，尤其是在纸中水分含量不大的时候。例如压光纸辊过软时，变形所作的功很大，得到的热量超过了需要的数量，这时，必须喷饱和蒸汽到纸面上提高含水量，或者通冷水入铁辊内降温。

辊子温度决定于纸中水分的变化；反之，水分的变化对压光过程又起着重大的影响。超级压光时，应当及时调整蒸汽量或供水量，使纸在超级压光机上部各辊间通过时，水分含量不致降低到压光最适宜的含水限度以下，否则影响压光效果。

6. 纸的组成和纤维原料性质

各种纤维原料因为具有不同的组织结构、纤维长度和细度、化学组成和润胀能力，压光时显示出不同的压光效果。一般说来，凡是细薄而润胀能力强的纤维，压光后容易取得紧密的纸面，换言之，纸的平滑度、光泽度和紧度容易提高。松材和云杉亚硫酸盐浆生产的纸平滑度较高，草浆次之，硫酸盐浆和磨木浆生产的纸最差。

不管那种纤维原料，提高纸料打浆度，压光后的纸，紧度、平滑度都比较高，并且原浆的打浆度愈大，压光后纸的平滑度也较高。

至于填料对超级压光的影响，因为填料性质而有不同。凡填料愈软而粒子分散度愈高的填料，压光时纸的平滑度愈高。一般说来，大多数填料都能提高纸的平滑度，但粒子粗大而且很硬的生石膏，反会降低纸的平滑度。

二、复 卷

卷纸机上卷成的卷筒两边不太整齐，而且纸幅太宽，必须纵切复卷成卷筒纸，或横切成平板纸。

为了保证卷得紧而均匀，并将纸纵切成规定的宽度，以适应轮转印刷机和其他机械

的需要,通常是将卷纸机卷的纸卷送到复卷机复卷。如果需要超级压光,则待超级压光以后再进行复卷。

复卷机

旧式复卷机车速只有 250~300 米/分,新式的工作速度多在 1200~1500 米/分,个别的甚至达到 2000 米/分。复卷机的最高车速比纸机车速快 1~2 倍,通常快 60~80%。复卷机卷成的卷筒直径,一般为 800~1400 毫米,复卷机的设备利用率通常为 0.6~0.8。

复卷机是将纸卷在纸芯上,纸芯用 60~90 克/米² 以上包装纸在卷芯胶合机上制成,胶粘剂通常应用水玻璃,也有用亚硫酸盐废液浓缩物作粘合剂的。

复卷机按领纸方式基本上可以分为上领纸式[图 2-3-193 (1)]和下领纸式[图 2-3-193(2)]两类。复卷机领纸速度为 20~25 米/分,领纸后即可提高到工作速度。

复卷机需要的功率可用下式计算:

$$N = \frac{qbv}{10 \times 102 \times \eta} \text{ (千瓦)} \quad (2-3-118)$$

式中 q ——纸的张力(0.1~0.5 公斤/厘米);

b ——纸宽度(厘米);

v ——复卷机车速(米/分);

η ——系数(0.6~0.7)。

复卷机中的一个重要部件就是纵切装置。纵切装置又有剪切式(图 2-3-194)和压切式(图 2-3-195)两种。

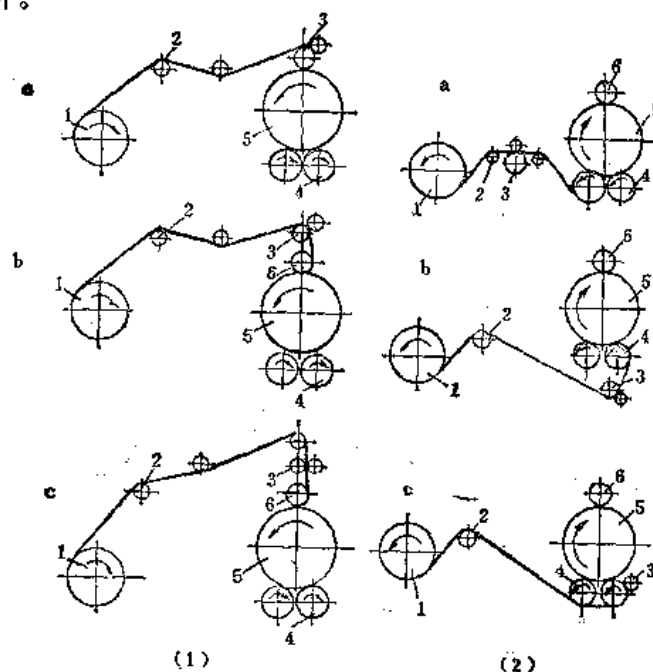


图 2-3-193 复卷机

- (1) 上领纸式: a—带刀辊的 b—带刀辊及单独压纸辊 c—带刀辊及二个压纸辊
 (2) 下领纸式: a—带刀辊和自支持辊间引纸的 b—带刀辊和在前支持辊上引纸的 c—带刀辊和压缩空气引纸的
 1—退纸卷 2—引纸辊 3—纵切装置 4—支持辊 5—复卷后卷筒 6—压纸辊

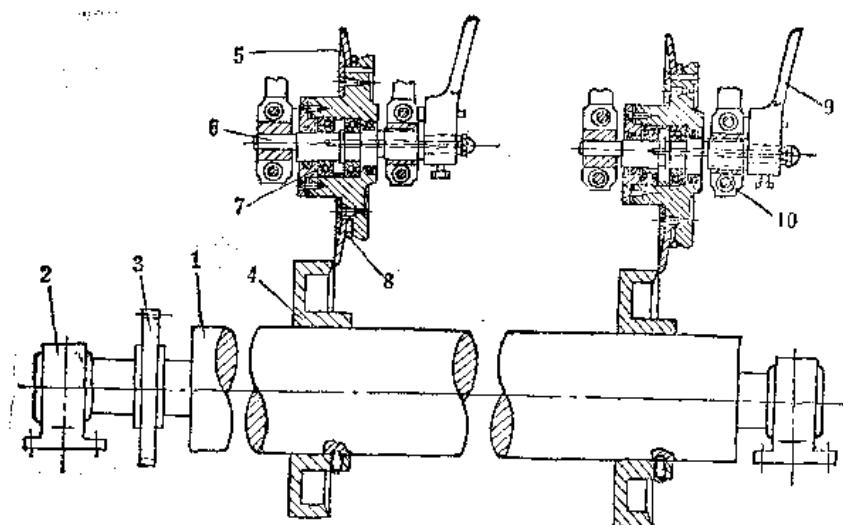


图 2-3-194 剪切式纵切装置

1—下刀轴 2—轴承 3—传动齿轮 4—下刀 5—上刀 6—偏心短轴 7—上刀轴承
8—压力弹簧 9—调刀手柄 10—上刀支架

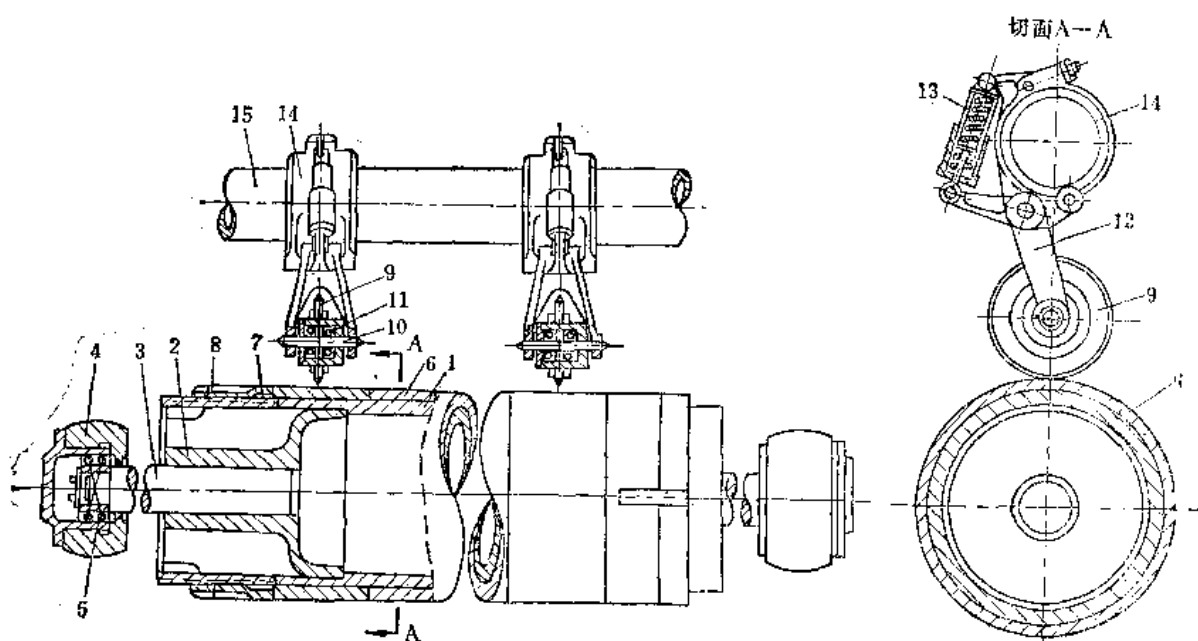


图 2-3-195 压切式纵切装置

1—刀辊筒 2—卡套 3—轴头 4—轴承壳 5—轴承 6—刀圈 7—刀辊螺帽 8—刀
辊锁紧螺帽 9—上圆刀 10—上刀轴 11—上刀轴承 12—上刀臂杆 13—压刀弹簧
14—上刀支架 15—安装支架横管

剪切式纵切装置的上刀为盘形，下刀为碗形，后者装在转轴上，而前者则装在另一短轴上，利用弹簧紧压在下刀之上，随着摩擦而转动。纸幅从两刀之间通过时即被裁切，为了保证切边整齐，刀速比纸的运行速度高 10~20%。纵切装置的上刀和下刀均可左右移动，以便适应裁切成不同宽度的卷筒纸。

压切法切纸时，纸幅围若下刀辊，上盘刀则依靠弹簧紧紧压着下刀辊。采用压切法切纸，上下刀的硬度不易选择合适，以致上下刀磨损不一致。

某些纸类(如电容器纸、卷烟纸、钞票纸、打孔电报纸等)要求切成窄条的盘纸,宽度10~200毫米不等。为了切成盘纸,一般采用1000~2000毫米的盘纸切纸机,其车速只有200~250米/分。

复卷应当避免卷得过松或过紧。卷得过分松软,容易冒辊,贮存纸时易于变形,太紧则使纸幅伸长过度,增加纸的断头。

卷筒紧度有内紧度(纸卷单位厚度内的径向压力)和外紧度(纸卷外层对内层的径向压力)之分。复卷时,主要控制的是卷筒的内紧度。

复卷时卷纸拉力大,卷筒紧度高,但太紧时容易爆口或断头,一般复卷采用拉力为0.1~0.5公斤/厘米($0.98\sim4.90\times10^2\text{N/m}$)。

提高复卷时的线压,卷筒紧度增加。从图2-3-196和(2-3-120)式可以看出,卷纸线压随着压辊和卷筒重量的增加而加大。

$$\text{按} \quad G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (\text{公斤}) \quad (2-3-119)$$

$$q = \frac{G_K}{b} = \frac{G}{2b \cos \alpha} \quad (\text{公斤/厘米}) \quad (2-3-120)$$

式中 G ——垂直总重量(公斤);

G_1, G_2, G_3 ——分别表示卷筒、卷纸轴、压辊的重量(公斤);

G_K ——卷纸实际作用力(公斤);

b ——卷筒宽度(厘米);

α ——卷筒中垂线与卷筒和支持辊中心连线所成的夹角。

压辊主要用于保证复卷初期(这时纸卷重量还很小)必要的卷纸线压,一般压辊重量按线压为1.0~1.2公斤/厘米($9.81\sim11.8\times10^2\text{N/m}$)计算。为了取得卷筒能有必要的紧度,纸卷和支持辊之间的线压应保持在1.2~1.5公斤/厘米($11.8\sim14.8\times10^2\text{N/m}$)范围内。

复卷紧度虽然取决于卷纸张力和线压,但起决定性作用的则是线压。随着复卷时线压的不断增加,张力作用的影响相对减小。卷纸张力只有在线压不大时,作用方较明显。

空气相对湿度太大,卷筒纸的外层容易起皱。

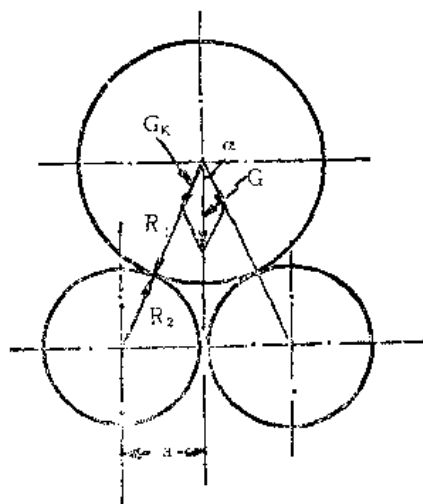


图 2-3-196 复卷力系图

三、卷筒纸的包装和封头

卷筒纸可由人工包装,也可使用机械进行。图2-3-197表示一种卷筒纸用能包装机。卷筒纸在支持辊上转动,将定量不小于120克/米²的包装纸卷到卷筒纸上。包装机中有可移动的涂胶辊,用以粘贴包装纸,操作时,只有在需要的时候才让涂胶辊接触包

装纸。包装新闻纸、印刷纸、地图纸等的包装纸层数不少于四层，其他卷筒纸也不少于两层。

当卷筒纸包装完毕，从包装机上卸下，折好两头，贴上印有部、局、企业名称产品名称牌号、定量、等级、宽度、净重、毛重和接头个数的商标纸，送封头机上封头。封头机的圆盘有电热或蒸汽加热装置，保持 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 温度，促使胶液迅速干燥。

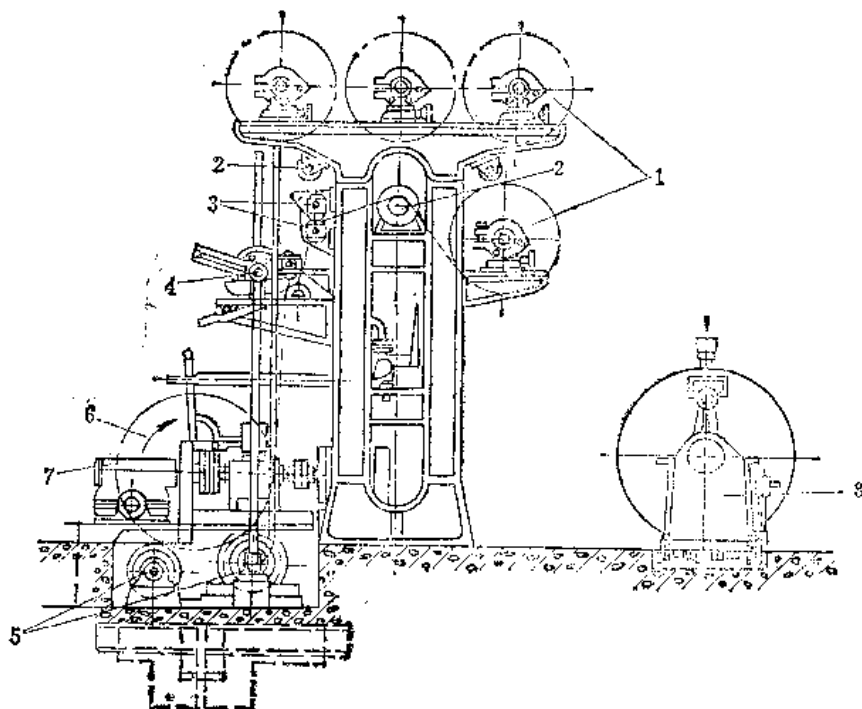


图 2-3-197 包装和封头机

1—退纸卷 2—导纸辊 3—牵引辊 4—涂胶辊 5—支持辊 6—包装卷筒 7—传动装置 8—封头机

四、平板纸的切纸、选纸、数纸和包装

一般书写纸、印刷纸和纸板等，有时都要求切成平板纸。由于印刷工业的发展，印刷上多用轮转印刷机，平板印刷纸的需要量相对减少。普通生产卷筒纸的工厂，难免不生产出部分等外的卷筒纸，也需要改切平板纸，因此在纸厂设计时，应按总产量的 $10\sim 20\%$ 考虑平板纸的生产。纸板切纸机是安装在纸板机之后。

图 2-3-198 为纸厂中广泛使用的轮转式切纸机，这种切纸机可同时裁切 $6\sim 20$ 个卷筒。纸幅通过导纸辊进入纵切装置，由圆刀沿着纵向切成规定的宽度，然后进入牵引压辊，再利用横切刀沿横向切成规定的长度，最后用运输带送往平板纸堆。图中所示的是复刀式切纸机，利用上下牵引压辊和用两把横切刀切成两种不同长度的纸。平板切纸机也有单刀的，只能将纸切成一种规格。切纸机中的纵切装置与复卷机中的相同，横切刀则是由迴转长刀和固定底刀组成。

平板切纸机的宽度，应与纸机宽度相等，车速一般可达 $120\sim 180$ 米/分，需要功率为 $7\sim 20$ 千瓦，随切纸机宽度而定。

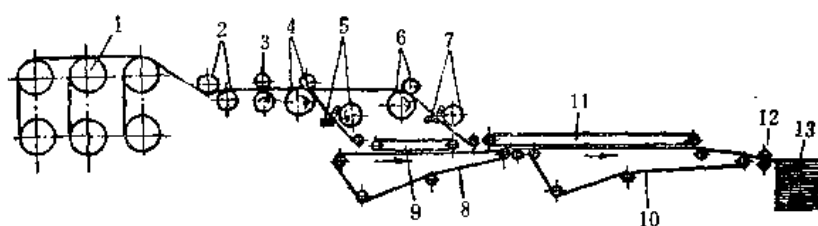


图 2-3-198 复刀轮转平板切纸机

1—纸卷 2—导纸辊 3—纵切装置 4—第一牵引压辊 5—第一横切机构 6—第二牵引压辊 7—第二横切机构 8—第一运输带 9—第一运输带的压紧带 10—第二运输带 11—第二运输带的压紧带 12—纸张堆放台 13—纸堆

有的切纸机装有自动记录器，并与电铃相连，当所切的纸数目达到一令的时候，电铃自动发出信号，这时在纸上放一标签，以便和下一令纸分开。

平板纸在机械化、自动化程度不高的纸厂，需要经过人工检查，挑选去掉有纸病和不合规格的纸。

选纸将成品纸分成一、二等及副品。检查的精细程度随纸的等级高低决定。一般是选掉有大量尘埃、污点、破损、皱折、眼孔、油迹、切口、歪斜、厚薄不匀的纸张。选

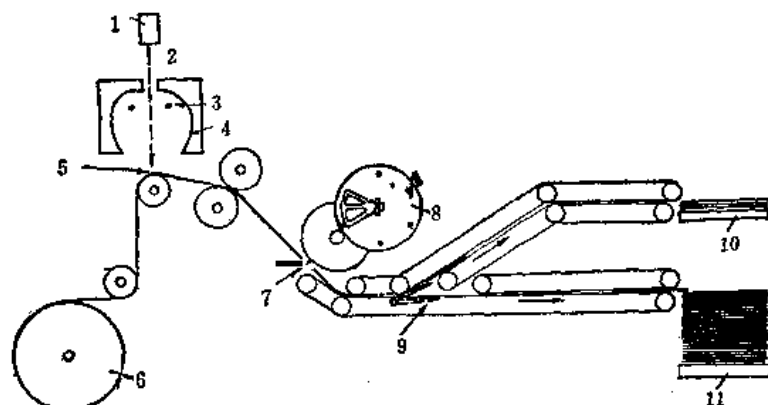


图 2-3-199 自动选纸设备

1—检查头和旋转镜 2—纸与光电管之间的光柱 3—光源 4—反射器 5—检查纸处 6—纸卷 7—切纸刀 8—记数 9—选纸处 10—不合格纸 11—合格纸

纸完毕，就按 500 张为一令进行数纸。高级纸还要重复数。

由于人工选纸和数纸占用大量的劳动力，并且工人容易得关节炎，眼疾等职业病，故现在的趋向是利用自动化、机械化代替人工选纸和数纸。图 2-3-199 表示一自动选纸和切纸装置，如能与自动计数和自动码纸结合在一起，就可办到选纸、切纸、数纸和码纸全部机械化、自动化。

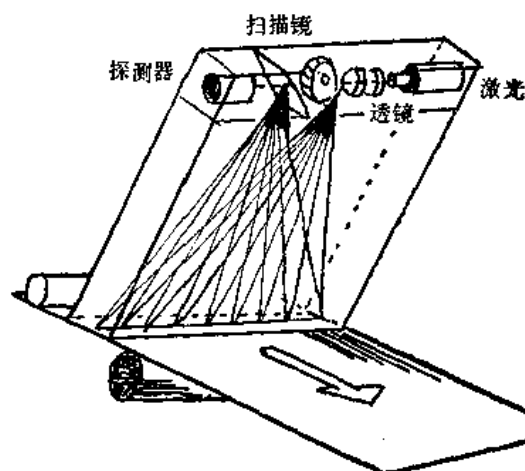


图 2-3-200 激光扫描选纸器原理

国外最近还研制出一种激光扫描选纸器(图 2-3-200)。选纸器有一小功率的(仅 4 毫瓦)氦激光器,用 12 片镜片组成的回转扫描镜鼓,激光束直径极小,只有 200 微米,扫描镜鼓的转速达 24,000 转/分。激光射到镜片上,因为镜鼓急速旋转的关系,激光束每秒钟扫描行进中的纸达 4800 次,反射光由接收器接收,经放大后联结执行机构。当纸的速度为 300 米/分时,1 毫米长的纸病(特别是眼孔)都逃脱不过选纸器的检查。

这种激光选纸器特别适用于照像纸和纸板。

经选纸和数纸后的平板纸,可用定量不小于 40 克/米² 的包装纸包成小包,每包张数为 500、250 或 125 张,但每小包重量不得超过 25 公斤。如果不包小包,则须用有色标签按上述纸数隔开。每小包上贴有印刷的商标纸。

为了避免在运输途中损坏起见,特别将若干小包重叠在一起成为一件,附上产品合格证,用木夹板和铁皮在油压或水压打包机上打件。每件重量根据纸的定量决定,定量在 50 克/米² 以下的纸,每件重量不超过 125 公斤;定量在 50 克/米² 以上的纸,每件不超过 175 公斤。包装木板上,用胶皮印上或用漏字板刷上部、局、企业名称、产品名称、号码或牌号、重量和等级、纸张尺寸、纸件编号、净重、毛重和标准号码等。最后送成品纸库贮藏或运送出厂。

主要参考文献

1. G. G. Duffy: The mechanisms of flow of pulp suspensions in pipe. *Appita*, 29, № 5:363~370(1976).
2. G. G. Duffy: Velocity profiles in the drag reducing regime of pulp suspensions flow. *Appita*, 30, № 3:219~226 (1976).
3. A. Bubik: The step diffuser—a hydraulic element in headboxes. *Tappi*, 60, № 4:133~137 (1977).
4. D. Egelhof: Determination of headbox flow stability and effects of basis weight variations on paper. *Tappi*, 60, № 3:63~65 (1977).
5. K. Horo: Centrifugal pulps research on pumping paper stock. *Tappi*, 61, № 1:67~70(1978).
6. Hydraulics of the wet end. *Paper Technology and Industry*, 17, № 2:60~63 (1976).
7. How to control stock inlet of high speed Paper machine. *Japan Pulp and Paper*, 14 № 1:47~51 (1976).
8. Understanding the role of turbulence should lead to improved formation. *Paper Trade J.*, 161, № 4:44~52 (1977).
9. An operation appraisal of W-type turbulence headboxes. *Paper Industry*, 59, № 11:7~11(1977).
10. How fourdrinier arrangement and operation affect sheet properties. *Pulp and Paper*, 51, № 11:92~95 (1977).
11. Fab-Fall system offers potential for improved sheet formation. *Japan Pulp and Paper*, 14, № 3:31~36 (1976).
12. Flat box operation—improved performance. *Paper Technology and Industry*, 16, № 3:145~149 (1975).
13. Couch press applications in the paper industry. *Tappi*, 61, № 4:39~42 (1978).
14. The influence of forming fabric design characteristics on sheet drainage speed. *Paper Technology and Industry*, 19, № 6:188~192 (1978).
15. Twin-wire. *P. P. I.*, 18, № 12:51~59 (1976).
16. P. B. Wahlstrom: Retention of fine solids during Paper manufacture. p. 19~46, Technical Association of the Pulp and paper industry (1975).
17. M. G. Halpern: Paper manufacture. p. 2~90, Noyes Data Corporation (1975).

18. 段永成、张承武：长网造纸机操作故障和纸病，轻工业出版社出版，1976年，1~87页，202~220页。
19. 国外造纸长网使用脱水板情况简介，四川造纸，1978年增刊，1~23页。
20. Paper Series on "Paper and Paperboard Manufacturing" 26. The pressing operation. Paper 185, № 6:348 (Mar., 1976).
21. J. Mardon: A consideration of the factors involved at the open draw at couch and presses of Fourdrinier machine, P. P. M. C. 59, № 9:135 (1958).
22. B. I. Howe: The characterization of couch draw stability. P. P. M. C. 60, № 4:99 (Apr., 1959).
23. J. Mardon: A consideration of the factors involved at the open draws at couch and presses of Fourdrinier machine, P. P. M. C. 59, № 9:135 (Sept., 1958).
24. P. I. Howe: Wet web transfer at the presses of high speed newsprint machine, Appita. 16, № 2:43 (Sept., 1962).
25. L. Osterberg: Papperbanors avtagning fran pressvatser, Svensk Papperstidning 65 Nr 6: 222 (Mars. 1962).
26. B. Radvan, G. O'bleses: Principles of adhesion on a paper machine. Tappi 42, № 12:921 (Dec., 1959).
27. 增大湿纸页在伏辊处剥离角的效果，造纸工业，1966年，第一期，第4页。
28. P. P. Rautala: Modern press structures, Tappi 53, № 6:976 (June, 1970).
29. Grooved press rolls. Paper 182 № 1:6 (July, 1974).
30. J. Gibbons: New design of grooved press rolls proves effective in European mills. Pulp and Paper 52, № 4:107 (Apr., 1978).
31. M. L. Papesh: The paper machine: water use and water removal, Tappi 52, № 9:1632 (Sept., 1969).
32. Eduard Kusters: S-walze.
33. 复式压榨，造纸技术通讯，1978年，第一期，第24页。
34. P. B. Wahlström: Our understanding of the fundamentals of pressing, P. T. J. 152, № 43: 52 (1968).
35. E. J. Justis: Tappi. 47, № 8:493 (1964).
36. 针刺造纸毛毯的性能特点和选择使用，造纸技术通讯，1974年，第二期，第19页。
37. J. S. Standish: Needled Paper machine felts, Paper Technology № 3:67 (1964).
38. A. H. Nissan: The functions of the felt in water removal on the paper making machine. P. P. M. C. 55, № 12:172 (Dec., 1954).
39. 茅浆凸版纸 3150 纸机压榨部改造的探讨，造纸技术通讯，1978年，第三期，第15页。
40. L. M. Lync, W. Galley: The effect of drying and heating in swelling of cellulose fibers and paper strength. Tappi. 33, № 9:429 (Sept., 1950).
41. A. P. Arlov, B. Ivarsson, Svensk Papperstidning 54 № 21:729 (Nov., 1951).
42. W. Brecht, D. Polhmann: The influence of tension force during the drying of paper on the behavior of paper. Das Papier. 9, № 13/14:304 (Juli, 1955).
43. Scankraft catalogue. Kraft paper for sacks.
44. A. H. Nissan, D. Hansen: Heat transfer and water removal in cylinder drying, Tappi. 13, № 9:753 (Sept., 1960).
45. A. C. Dresfield: The drying of paper. Tappi 39, № 7:449 (July, 1956).
46. R. R. Rounsley: Some aspects of modern drying theory. P. T. J., 145 № 50:44 (Dec. II, 1961).
47. E. Race: Mechanism of paper drying on steam-heated cylinders, P. T. J., 155, № 9 32 (Mar. I, 1971).
48. Technische Mitteilungen: Leistungssteigerungen an Papier Maschinen durch Airfoil-Trockner. Das Papier 30, № 6:265 (1976).
49. J. A. Villalobos: Through-drying-new developments in a growing field. Tappi 59, № 4 76 (Apr., 1976).
50. J. A. Villalobos: Through-drying in tissue and toweling. Tappi 60, № 1:137 (Jan., 1977).

51. 大和紡績株式会社：大和紡績紅用帆布说明书(1974)。
52. R. G. Macdonald: Pulp and Paper Manufacture Vol. III (2nd. 1970), p. 367~644.
53. 紙パルプ技術協会：紙の抄造 (1974), p. 207~529.
54. И. Я. Эндлич: Бумаго-делательные отделочные машины (1962) стр. 264~671.
55. C. E. Libby: Pulp and paper science and technology, Vol. II. (1962) p. 223~272.

第四章 纸板的生产

第一节 概 述

纸张和纸板是根据定量或厚度进行划分,但其界限并不很明确。一般来说,纸板定量多在 $110\sim 150$ 克/米²以上,直至达到 $800\sim 1100$ 克/米²;厚度则由 0.1 毫米直至 8 毫米以上。

纸板大量用于商业包装,也用于工业上各方面的特殊需要。纸板的生产不但关系到对外贸易和国内市场的商品包装运输问题,而且也影响到电气工业、建筑工程、汽车制造业等的发展。世界主要产纸国家的纸板产量一般占纸张和纸板总产量的 23~29%,有些国家甚至达到 37~56%。近年来,大多数国家的纸板产量比重均有日渐增长的趋势。我国目前纸板的产量约为纸张和纸板总产量的 23%多一点,其绝对数值仍远远不能满足社会上的需要。显然,我国纸板的生产今后将会有更大的发展。

根据用途,纸板大致可分为下列类别:

(1) 包装纸板:例如草纸板、箱纸板、厚纸板、挂面纸板、瓦楞纸板等,主要供制造纸盒、纸箱等用。

(2) 过滤纸板:用以过滤气体或液体。例如,防毒面具用的过滤纸板;汽车、拖拉机等滤清器用的滤芯纸板。

(3) 建筑纸板:例如,供房顶防水用的油毡纸;作为隔墙使用的隔热、隔音纸板;供制作天花板或隔墙用的纤维板等(纤维板是用浆渣或其他纤维废料压制而成,自成另一行业,严格来说,不属纸板的范畴)。

(4) 印刷与装饰纸板:例如,封面纸板(供相册、精装书籍作封面用)、封套纸板(供画册、相册等衬套用)、字型纸板(供冲压制版用)等等。

(5) 冲压纸板:例如,标准纸板(供制压模制品用)、扩音喇叭用纸板(供制造扬声器用)、提花纸板(供纺织工业提花处理用)等。

(6) 衬垫纸板:供制造各种形状衬垫用。

(7) 电绝缘纸板:作为空气介质或油介质中的绝缘材料,用于电机、电气开关、变压器等电气设备的制造。也用于电气仪表和通讯等弱电装置。

(8) 其他工业纸板:例如,防水纸板(用于汽车和拖拉机制造业)、制鞋用纸板、手风琴风箱用纸板、纸制器皿(纸杯、纸盘)用纸板等。

根据用户需要,纸板可制成卷筒或平板。由于用途各异,对纸板质量的要求也不完全一样。有关各种纸板的规格要求和质量指标,可参阅中央轻工业部制订的部颁标准

（见《造纸工业产品标准汇编》，技术标准出版社，1973年，第141~180页）。

第二节 纸板的生产过程

一、生 产 方 法

纸板的生产方法跟一般纸张的抄制基本相同，也是通过制浆、打浆、抄制、压光、卷取、裁切或复卷等步骤。有些纸板还需要加用填料（例如滑石粉、白土等），有些要求经过施胶处理，有些还需要加用化学助剂（例如沥青、合成树脂等），以取得某些特定性质。又有需要加用有机染料进行染色的。另外，也有一些纸板要求采取表面施胶处理（例如高级提箱纸板）、涂布加工（例如字型纸板、扑克牌用纸板、器皿用纸板等）或压印花纹（例如供制作家具用的装饰纸板）等等。

用以抄制纸板的纸浆，大多属于高得率浆范畴；只有在抄制高质量纸板时，才运用化学木浆、破布浆、麻浆等长纤维浆种。总之，浆种和配比的选择，既取决于纸板的质量要求，又要注意到经济合理性。例如，一般较低级的包装纸板，多采用石灰法稻、麦草浆制成。白色磨木浆、褐色磨木浆、中性盐或硫酸盐半化学木浆、中性盐或碱法稻麦草浆、废纸浆等，则大多用于抄制较高级的包装纸板、箱板纸、提花纸板、装订纸板、建筑纸板等产品。挂面纸板和白纸板则多以本色或漂白化学浆为挂面层和底层的主要配浆，芯层仍采用较低级的本色纸浆。挂面层和底层的化学浆可以是硫酸盐稻麦草浆、亚硫酸盐或硫酸盐苇浆、亚硫酸盐或硫酸盐木浆。芯层浆料可以是磨木浆、石灰法稻麦草浆、制浆厂浆渣等。制浆厂筛选车间浆渣又可直接供抄制较低级包装纸板、纤维板等使用。

如前所述，高质量纸板多由长纤维浆种制成。例如，以硫酸盐木浆和破布浆抄制绝缘纸板；以漂白亚硫酸盐木浆和废纸浆掺配，制成字型纸板；以麻浆为主，掺用部分化学木浆或化学草浆，抄制高级箱板纸；以鞋帮、鞋底、杂色破布为主要原料，掺用少量废纸浆，制成油毡纸原纸。应该指出，掺用废纸浆，不但有利于降低制造成本，而且还有助于改进纸板的柔软性和弹性；这点对某些品种（例如字型纸板）具有着重要意义。

纸板厂的传统制浆设备或为蒸球，或为蒸煮锅。近年来，又多趋于采用管式连续蒸煮器或其他型式连续蒸煮设备。这类连续蒸煮设备大多附有热磨机，用以对半化学浆作进一步的纤维离解。

供制造纸板用的废纸，可以是经过脱墨处理，也可以不经过脱墨处理的，视其用途及纸板质量要求而定。有关废纸脱墨的生产方法见本书上册第九章。不经脱墨处理的废纸，通常是在水力碎浆机中直接离解成浆。有关水力碎浆机的结构详见本书上册第九章。

以破布（包括鞋帮、鞋底等）为原料抄制纸板时，也不需要经过蒸煮处理，而是直接将破布切断成小块，送到半浆机中进行“生打”，再在成浆机中进一步离解成浆，然后与其他浆种混合，供抄成纸板用。在处理破布的整个过程中，不加用任何化学药剂。

其他浆种的打浆，可以采用间歇式设备（打浆机），也可以采用连续式设备（圆柱磨浆机、盘磨机、双盘磨或三盘磨），总的倾向是趋于运用连续打浆的方法。

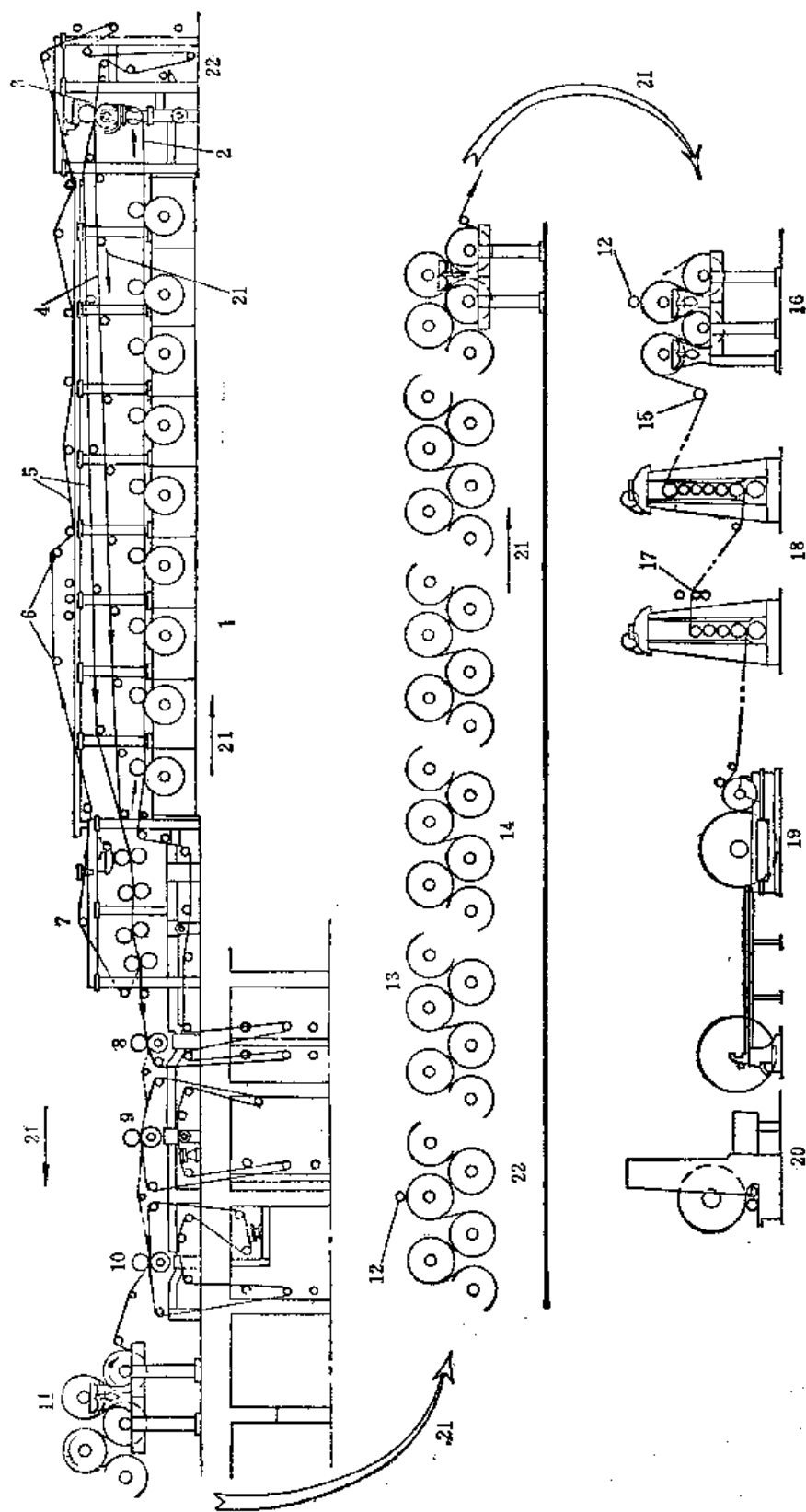


图 2-4-1 多圆网纸板机组示意图

1—成型部 (由9组网笼和网槽组成) 2—下毛毯 (纸幅在下) 3—圆鼓真空预压榨 4—下毛毯 (纸幅在上) 5—上毛毯 6—毛毯辊 7—预压榨 8—第一主压榨 9—第二主压榨 10—第三主压榨 11—第一组烘缸 12—压纸辊 13—烘缸 14—干燥部 15—弹簧辊 16—最后一组烘缸 17—展纸辊 18—压光机 19—卷取机 20—复卷机 21—纸幅运行方向 22 操作棧面

纸板的抄制，可以运用连续生产方式、半连续生产方式或间歇生产方式。一般来说，厚度在1毫米以下、定量不超过800克/米²左右的纸板，大多是在连续式纸板机上抄制；厚度在1毫米以上的纸板，则多采用半连续式或间歇式生产方法。

二、连续式纸板机

传统的连续式纸板机主要有：(1)多圆网纸板机；(2)单长网纸板机；(3)多长网纸板机；(4)长圆网混合纸板机，其中以多圆网纸板机应用最广泛。

图2-4-1所示为多圆网纸板机组成的示意图。如图所示，网部由9组圆网笼和圆网槽构成(一般多为4~9组)，网笼上方各设有伏辊。网槽多选用逆流式或喷浆式结构，网笼结构跟普通圆网造纸机相同，但外网采用较粗网目(一般为50目)。每个网笼的上浆量可以达到60~120克/米²。在各个网笼上形成的单层纸页粘合在一块，构成湿纸板，由毛毯递送至压榨部。如图所示，湿纸板首先通过1组圆鼓真空预压榨(有些纸板机没有设置这套装置)，然后经过4道普通预压榨(一般为3~6道)，获得初步的机械挤压脱水，随而送至三道主压榨，再进入干燥部。图示三道主压榨均为正压榨；有些纸板机的最后一道压榨采用反压榨。在干燥部后面，设有两台压光机(有些纸板机只设有一台压光机)，最后是卷纸冷缸。

图示流程是在纸板机上卷取纸板，再在复卷机上复卷成一定规格的卷筒纸板。在幅门较窄、车速较慢的纸板机，则又有将纵切装置安设在压光机后面，连续地对纸板进行分切，并在一台轴式卷纸机或两组卷纸冷缸上，直接制成卷筒纸板，不再经过复卷加工。在生产平板纸板时，则又有将裁切机构安设在压光机后面，直接制得平板产品。

如前所述，压榨部是由真空预压榨、普通预压榨和主压榨组成。真空预压榨设在最后一组网笼和网槽的后面，由包胶上辊和真空金属下辊组成，辊间线压 $4.91\sim 9.81\times 10^5$ 牛顿/米(5~10公斤/厘米)。也有些纸板机采用小径网笼取代真空金属下辊；小径网笼可以是抽风式的，也可以是常压操作的。普通预压榨也是由上下辊构成，辊径一般为200~350毫米，上辊为金属辊或包胶辊(橡胶硬度勃氏30~40°或肖氏85~90°)，下辊为普通或低真空操作的包胶辊(橡胶硬度勃氏30~35°或肖氏88~90°)；上下辊间线压 $4.91\sim 29.4\times 10^5$ 牛顿/米(5~30公斤/厘米)，各道预压榨的线压是逐步增大的。主压榨装置的结构与造纸机的相同：上辊为花岗岩石辊，下辊可以是普通包胶辊(橡胶硬度勃氏30~35°或肖氏88~90°)，也可以是沟纹辊或真空辊。主压榨上下辊间线压一般为 $3.92\sim 5.89\times 10^4$ 牛顿/米(40~60公斤/厘米)，近年来，又有趋于运用高强压榨的倾向。辊间线压达到 $9.81\sim 14.72\times 10^4$ 牛顿/米(100~150公斤/厘米)。图2-4-1所示纸板机的各组网笼和网槽、真空预压榨、各道普通预压榨以及第一主压榨，公用一床下毛毯；真空预压榨又与各道普通预压榨公用一床上毛毯。操作时，必须特别注意使上下毛毯获得充分洗涤，保持毛毯洁净。

纸板机干燥部跟长网造纸机干燥部相同，也是由若干个烘缸按上下两层排列而组成，并分为若干传动组(也有些纸板机则将4~6个烘缸重叠安装，构成多层烘缸排列，以节约占地面积)。烘缸个数取决于纸板机车速和生产能力，一般多为60~100个，低产量的只有20~30个。如图2-4-1所示，干燥部不带干燥毛毯，但也有上下层烘缸均带

毛毯的，或只有下层烘缸带毛毯的，在这种情况下，则必须配置毛毯烘缸或其他型式的毛毯烘干装置。

有些纸板机在第一组烘缸前，设有一对光泽辊，用以提高纸板的光泽度。也有在第一组或第二组烘缸后面，设置一组半干压光机，借以提高纸板的紧度和平滑度的。光泽辊结构与长网造纸机所用的相同。半干压光机是由2~4个具有高光泽度的冷铸钢辊或镀铬辊组成。为了对纸板进行表面施胶处理，又可以在最后一组烘缸的前面，安设一套表面施胶装置。

单长网纸板机的结构型式基本上与长网造纸机相同。由于采取一次上浆的方式，比较适用于500克/米²以下单层纸板的抄制，其产品紧度一般只能达到0.4克/厘米³左右，远远不如多圆网纸板机产品的紧度指标。长网纸板机产品具有厚薄均一、表面匀整、纵横强度比值较小等优点，这些方面则是多圆网纸板机生产的多层纸板所不及的。

采用多长网(双网或三网)纸板机，生产多层纸板，可以在一定程度上克服单长网纸板机产品紧度偏低的缺点，其紧度可以达到0.6~0.8克/厘米³，而又同时保留单长网纸板机产品的主要优点。多长网纸板机的结构与多长网造纸机相同，结构较复杂，网部又要分别安设在不同标高，大大增加厂房建筑高度，增加基本建设投资，是其主要缺点。

长圆网混合纸板机是指由1~4组网笼和网槽跟1~2组长网结合，组成网部的纸板机，从压榨部开始，其结构型式与长网造纸机近似(见图2-4-2)。混合式纸板机结构复杂，多限于生产要求具有较小收缩性的纸板，例如衬垫纸板、装订纸板、扑克牌用纸板等，产品紧度一般可达到0.6克/厘米³左右。

如前所述，大型纸板机往往需要配置多至60~100个烘缸，组成干燥部，设备费用既高，土建投资也较多。为解决这一矛盾，有些纸板机采用红外线干燥，部分地取代烘缸接触干燥。

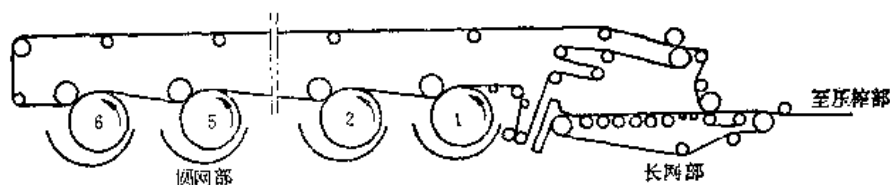


图 2-4-2 长圆网混合式纸板机网部示意图

红外线是一种具有0.76~400微米波长的光波，这种光波具有一定的辐射能量。利用红外线的辐射能对纸张或纸板进行干燥，可以加快干燥速率，这是由于红外线的辐射给热系数很大，有利于物料游离水分的蒸发。红外线又具有穿透性能，直接加热物料内部，促进内部水分向外扩散。红外线传热主要取决于热源和受热体之间的温度差，也决定于热源的辐射能力、受热体的吸热性能、热源和受热体的暴露面积以及两者的距离等。根据辐射原理，红外线的辐射能量跟其热源的绝对温度的四次方与受热体表面绝对温度的四次方两者差额成正比，只要提高红外线热源的温度20%，即能使辐射热能增大一倍，从而取得更好的传热效果。但是，热源温度也不宜过高，否则由于温度过高的关系，大部分热能将会转化为可见光，失去其应有的干燥作用。据此，应根据具体情况，选定热源温度，以取得最大干燥效果。生产实践证明，最适宜的热源温度为

800~900°C, 此时红外线波长主要为 2~6 微米。

红外线来源可取自红外灯泡, 也可以通过煤气或天然气的燃烧, 对多孔陶瓷板或金属屏障加热而得到红外线辐射。红外灯泡辐射能量较小, 且耗电较多, 大多只用于涂布纸作为辅助干燥, 或用于实验室对纤维原料、纸浆、纸张和纸板等作水分含量的快速测定。纸板机则倾向于采用煤气(或天然气)红外线, 作为辅助干燥, 一般是安设在第一组烘缸的前面或后面。图 2-4-3 所示为常见的直接燃烧红外辐射单元示意图, 以若干个辐射单元组成一个屏障, 两个屏障相对着安设, 两者之间保持 300~500 毫米左右的空

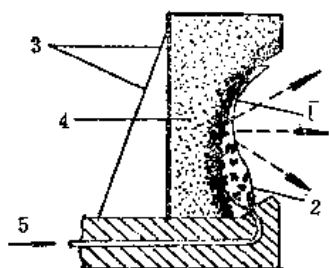


图 2-4-3 煤气红外线辐射单元
1—辐射表面 2—火焰 3—托架
4—耐火材料 5—煤气进口

挡, 即可组成一个红外线干燥室, 纸幅从两个屏障之间中央部位通过, 即可从两侧吸收所需辐射热, 而取得干燥。煤气(或天然气)红外线能量较大, 是其优点。在使用煤气(或天然气)红外线时, 必须注意到操作上的安全, 尤其要考虑到防爆和防火措施, 避免发生意外事故。

采用红外线干燥, 不但能节约基建投资, 加快干燥速率, 而且又能提高纸板的全幅水分均匀性。但是, 经常操作费用较大, 在没有天然气的地区, 又需增设煤气发生炉, 是存在着的主要问题。这也是红外线干燥未能获得更广泛运用的主要原因之一。

三、间歇式和半连续式生产

纸板的间歇式生产也是由成形、压榨、干燥、压光和整理等单元操作构成。

成形是运用圆网成形机(图 2-4-4 所示为双网成形机, 也有采用单网成形机的), 也可以运用长网成形机(图 2-4-5)。如图 2-4-4 所示, 在网笼上构成的湿纸幅粘合在一起, 再在成形辊上缠绕。借助外加压, 成形辊和支撑辊(包胶)之间, 维持 $7.36 \sim 9.81 \times 10^3$ 牛顿/米(7.5~10 公斤/厘米)线压, 促进湿纸幅的粘合。当湿纸板缠绕到要求厚度, 再将其割下。由此可见, 成形机实际上是湿抄机的一种型式。

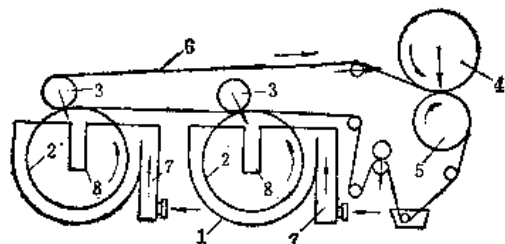


图 2-4-4 双圆网成形机
1—网槽 2—网笼 3—伏辊 4—成形辊 5—支撑辊(主动辊) 6—毛毯 7—流浆箱 8—网槽耳
箱(白水出口)

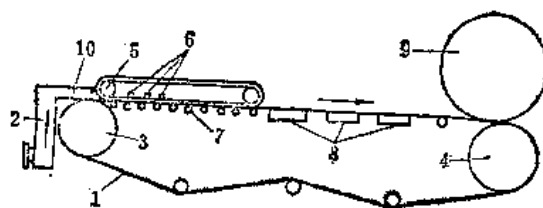


图 2-4-5 长网成形机
1—长网 2—流浆箱 3—胸辊 4—下伏辊(支撑辊) 5—定边带轮 6—堰板 7—案辊 8—吸水箱 9—成形辊 10—唇布

将割下的平板湿纸板重叠在一块, 各层湿纸板间可以加垫毛毯、厚白布或塑料网布, 也可以考虑每隔 20 厘米厚左右加垫一块薄镀锌板。湿纸板重叠到一定高度(1000~1500 毫米), 即可送至 400~1000 吨液压机, 进行机械挤压, 使纸板干度达到 50~55%。液

压机有向上加压和向下加压两种型式(见图 2-4-6), 在结构上近似于平板纸液压打包机。操作时, 采用的单位压榨压力为 $1.96 \sim 9.81 \times 10^6$ 牛顿/米² (20~100 公斤/厘米²), 甚至达到 1.47×10^7 牛顿/米² (150 公斤/厘米²) 以上。压榨时间一般为 3~4 小时, 有时少些, 有时多些, 取决于纸浆的原有打浆度。一般是缓慢地增加压力, 也就是说, 开始时, 加压不宜过大, 务使湿纸板不致受损坏, 随着压榨时间的进展, 逐渐增加压榨压力。为缩短压榨时间起见, 近年来又有采用热压机取代液压机的倾向。热压机在结构上跟液压机近似, 但其压板依靠外来热源(蒸汽加热或电热)取得 140~200℃ 的温度, 从而加速湿纸板的脱水作用。

经过压榨后的湿纸板, 可转装在小车上, 推进间歇操作的隧道式干燥室, 在热风的作用下获得干燥。也可以将湿纸板置于输送带上, 送入运输式干燥室(图 2-4-7), 受热风干燥。输送带为无端网状, 由镀锌铁丝或其他适当材料制成, 湿纸板由输送带从一端进入干燥室, 干纸板从另一端送出。干燥过程的主要参数为热风的温度和相对湿度, 以及纸板在干燥室内的停留时间。热风的温度应为 100~150℃, 取决于所处理的纸板性质, 一般最好不超过 120℃, 但个别品种(例如字型纸板), 则要求采取较低的热风温度(50~70℃), 以确保质量。热风的相对湿度应尽可能较小。从干燥室排出的废气温度应不高于 35~40℃, 其相对湿度则应不低于 75~80%。热风一般是通过采用蒸汽对空气进行间接加热而得, 蒸汽耗用量通常达到 2.5~3.5 吨/吨纸板。

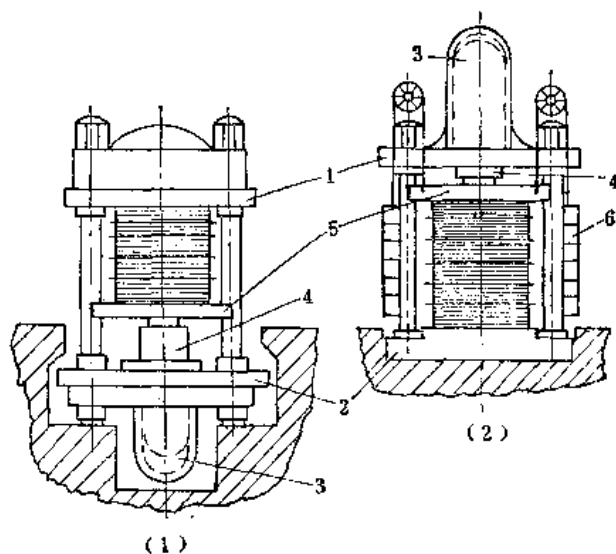


图 2-4-6 液压机示意图
(1)——向上加压的液压机 (2)——向下加压的液压机
1—上固定板 2—下固定板 3—液压筒 4—活塞
5—可装卸的盖板 6—平衡重锤

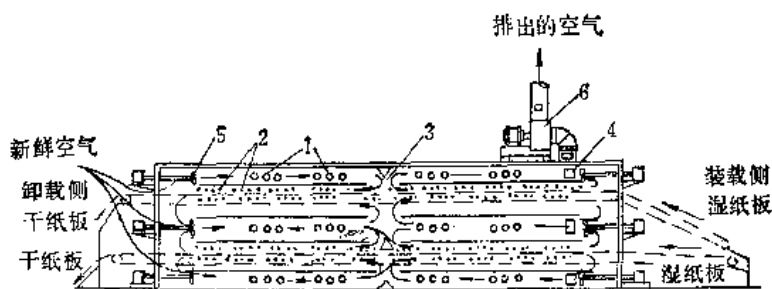


图 2-4-7 具有两个加热区的双层运输式干燥室
1—加热器 2—蒸汽管 3—进气阀 4—排气阀 5—循环风机 6—排气风机

经干燥后的纸板, 可在恒温恒湿状态下, 静置 72 小时以上, 令其水分含量达到 10~14%, 且较均匀, 方可进行压光, 借以提高纸板的平滑度和紧度。必要时, 可对纸板

进行润湿处理。润湿介质可以是清水或肥皂水，肥皂水由 0.5 公斤上等肥皂和 100 升清水，另加少量甘油配制而成。可以将干纸板夹在两块湿布中间，取得润湿；或将干纸板置于输送带上，喷淋润湿。也可以使用双辊压榨机对纸板进行润湿，压辊套有湿毛毯，在其上不断喷淋润湿介质，由湿毛毯将其传递给纸板。为加快水分渗入纸板，并使线板表面平整，又可令润湿后纸板再通过一台压榨机，在 $4.9 \sim 6.87 \times 10^5$ 牛顿/米² (5~7 公斤/厘米²) 压力下，受压 20~30 分钟。

经调节后的纸板，可通过双辊压光机得到压光处理。双辊压光机分施光、摩擦和万能三种类型。施光压光机的上下辊均为金属辊，下辊为主动辊，通过齿轮传动带动上辊，从而使上下辊间线速趋于接近；操作时，可在上下辊内通入蒸气，予以加热，并通过重锤和杠杆作用，维持 3.92×10^4 牛顿/米 (40 公斤/厘米) 以下的辊间线压，以提高纸板的紧度。摩擦压光机的上下辊可以都是金属辊，或者其中一个是纸粕辊，上辊为主动辊，通过齿轮传动带动下辊，使下辊线速超前 13~15%，甚至 20%，视纸板种类而定。摩擦压光机辊间线压可以达到 8.83×10^4 牛顿/米 (90 公斤/厘米) 以上，这一压力是依靠液压系统使下辊紧压着上辊而形成的，通过摩擦压光，纸板的单面光泽度会有较大提高。万能压光机是施光、摩擦压光两用的专用设备，其上下辊均为金属辊，上辊为主动辊，通过齿轮传动带动下辊。万能压光机上下辊间的齿轮传动结构是可以调节的，因此，可以随时调节上下辊间的线速比值，以适应施光或摩擦压光的需要。下辊附设的液压系统，又可用以改变上下辊间的线压力，以取得施光或摩擦压光的效果。使用万能压光机，无论是令其起施光作用还是起摩擦作用，均能同时取得压型的效应。经过压光的纸板，其紧度能增加 15~30%，抗压强度和耐磨强度提高 20~30%，抗张强度增加 5~10%。在生产实际中，可根据需要，选用任一类型压光设施。

压光后的纸板可作进一步裁切、分选，然后打包入库。

近年来，已逐渐趋于将上述成形、压榨和干燥等单元操作，通过链条输送或胶带输送，组成生产流水线，改为半连续生产方式。压光操作则仍然沿用间歇式生产。

四、纸板质量控制的几个主要问题

为适应使用需要，纸板必须具有较好的物理性能，主要是紧度、挺度、抗张强度、耐破度、耐折度、撕裂度、抗压强度、耐磨强度等。某些纸板又必须具有吸收性能、可压缩性、绝缘性能、尺寸稳定性、适印性能等等。对作为包装材料使用的纸板来说，又往往要求其具有较好的弯曲性能、形成瓦楞的性能以及良好的平压性能（平压性能指纸板起瓦楞后的抗压性能）。近年来，又趋于对供制作包装纸箱用的纸板，进行环压强度（又称边缘抗压强度）的测定，借以预测几张纸板贴合在一起后的抗压性能。上述各种性能的取得，既与纤维原料的选用有关，又取决于纸板制造的加工方法。

要制得符合一定质量要求的纸板，首先要从确定浆料配比着手。全部或大部分采用长纤维（例如硫酸盐针叶木浆、破布浆），固然可以制得物理强度较高的纸板，但制造成本高，因此多限于抄制特殊品种（例如电气绝缘纸板）。较低级的产品（例如草纸板），可以选用低质纸浆（例如半化学草浆、化学浆渣等）。为制得一般用途的纸板，又多从经济核算观点出发，选用质量较好的纸浆，抄制多层纸板的挂面层和底层；芯层则采用成

本较低、质量稍次的纸浆。可以认为，纸板芯层主要起着填充作用，纸板的物理性能在很大程度上取决于挂面层和底层。例如，纸板的挺度主要是依靠挂面层和底层取得；耐磨强度、平滑度、适印性能等，则更是取决于挂面层。由此可见，从技术经济观点出发，妥善选择纸板中各层纸页的浆料配比，是一个不容忽视的问题。

纸浆加工过程更是直接关系到产品的质量。半化学浆和磨木浆虽然在物理强度上不如化学木浆，但由于成本低，故在纸板抄制中获得大量应用。对化学纸浆或半化学纸浆进行粘状打浆，固然有利于增加纤维的比表面面积，促进纤维间的良好结合，从而取得改进成形匀度和提高物理强度的效果，但是，粘状浆滤水较慢，不利于纸板车速的提高，而且制得的纸板尺寸稳定性较差，易于卷曲。为此，只有少数质量上有特殊要求的品种（例如字型纸板、提花纸板等），采用半粘状打浆，打浆度达到 $40\sim 60^{\circ}\text{SR}$ ；大多数纸板则倾向于采用游离状打浆，打浆度只有 $28\sim 35^{\circ}\text{SR}$ 。

确切掌握纸浆流送系统的浆速以及上网浆浓，是抄制质量优良的纸板的又一个重要方面。在纸板机前的流送系统中，务必设法维持纸浆流速在 $1.5\sim 1.8$ 米/秒以上，使纤维能得到充分分散，这是取得良好成形匀度的首要条件。上网浆浓的正确选用，更是关系到成形匀度的关键。上网浆浓不宜过高，且主要取决于纸板机网部结构型式。一般来说，长网纸机的上网浆浓可以稍高些，圆网纸机的则应稍低些。不同型式的圆网槽，对上网浆浓也有不同要求；例如，逆流式网槽多采用 $0.2\sim 0.35\%$ 浆浓，顺流式网槽的浆浓则为 $0.1\sim 0.25\%$ 。抄制多层纸板时，往往又着重于控制挂面层和底层用浆浓度稍为小些；芯层用浆浓度则可以适当高些，有时甚至达到 0.5% 以上。

在妥善控制浆速和浆浓的同时，还要设法排除存在于浆料悬浮液里的细小空气泡。这些气泡主要来自回用白水，从网笼内排出的白水往往带有较多气泡，必须将这部分白水引入敞口白水槽，排去空气，方可用以稀释纸浆。如回用白水中带有较多细小气泡，混入纸浆悬浮液中，则势必会在流浆箱处产生大量泡沫，致使无法正确控制流浆箱浆位，直接影响到纸板机的正常生产。

如纸页中留存有空气，则当各层纸页通过伏辊与圆网笼之间以及通过预压榨和压榨装置的辊间，得到挤压脱水和粘合作用时，可望挤出各层纸页间的空气。但是，由于纤维具有一定的可塑性，湿纸板离开压区时，会因松弛的关系而恢复一定的厚度，此时，又会从周围重新吸入空气，如湿纸板的层间结合不良，则更易在其间留存空气。层间带有气泡的湿纸板到达干燥部后，由于受热关系，空气发生膨胀，导致纸板的“脱层”。据认为，加强纸板的层间结合，有利于排除层间的细小气泡，减少“脱层”的发生。要杜绝“脱层”，既要排除纸浆中的空气泡，又要正确选定伏辊与网笼间的偏距（ $200\sim 250$ 毫米）以及主压榨装置上下辊间偏距（ $50\sim 80$ 毫米；第一压榨较大，第三压榨最小），控制加压程度，并做到逐步增加压榨压强，妥善掌握网笼内外水位差，经常保持毛毯的清洁等等。做好这些方面的工作，不但可以加强脱水，增进层间结合，而且还能减少空气混入纸层之间的机会，从而避免出现“脱层”。

还应该指出，如果伏辊表面不圆，或网笼圆周不规则，两者接触不良，也有可能将空气带入到纸层中。有关这方面的情况，也要给予应有的注意。

加强纸板的层间结合，不但有助于减少“脱层”，而且也有利于提高纸板的紧度，提

高纸板的物理强度。要取得良好的层间结合，首要的问题，是确切掌握各层纸页所用纸浆的打浆度，务使通过打浆处理，纸层间纤维的接触表面积有所增加，而且相邻纸层用浆的打浆度应比较接近，打浆度的差别以不超过 $3\sim 5^{\circ}\text{SR}$ 为宜。必要时，也可以考虑在打浆过程中添加淀粉或合成树脂，以增进层间结合。在操作中，如能妥善调整各处伏辊与网笼间的偏距，正确控制伏辊的加压程度，又能做到使相邻纸层在紧度和水分含量上稍有差别，这样又可以促进紧度较大、较干的纸页、更好地压入较松、较湿的纸页，取得更好的层间结合。一般来说，各个纸层之间水分含量差值也不应超过 $3\sim 4\%$ 。

正确掌握压榨操作，既关系到纸板层间的良好结合，又是控制纸板紧度的一个重要步骤。湿纸板一旦形成后，必须采取逐步增加挤压强度的方法，首先是充分发挥预压榨装置的作用，使湿纸板取得缓和脱水和纸层间的进一步结合。然后再利用主压榨装置的较大压强，进一步推动脱水和层间结合，从而提高纸板的干度和紧度。纸板的紧度还可以通过半干压光机和七辊压光机的处理，再予提高。

纸板厚度较大，横向收缩也较严重，因此，在干燥过程中，要特别注意控制干燥温度曲线，来自压榨部的湿纸板多带有 $40\sim 55\%$ 水分，可使与表面温度不超过 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ 的烘缸接触，此时纸板内部水分即能通过扩散作用转移到纸板表面，而得到蒸发。接着，可以逐步提高干燥温度，直至达到 $120\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。如果湿纸板受到骤然加热，则往往由于内部水分很快转化为水蒸汽，又来不及从纸板表面逸出，有可能造成“脱层”。如前所述，如果纸板层间带有较多细小气泡，也会导致“脱层”。

最后，还应该指出，在纸板生产中，有时还会在圆网部发生湿纸板脱落的操作事故，这种现象常称为“滚包”。在圆网部形成的湿纸层是粘附在湿毛毯的下方，从一组网笼和网槽传递到另一组网笼和网槽；所谓“滚包”，就是湿纸层从毛毯脱离开来，跌落地面。湿纸板“滚包”往往是由于湿纸板定量太大、纸浆粘性太大、湿毛毯太脏等原因所引起的。通常只要注意加强对纸浆的洗涤，保持湿毛毯的洁净，即可解决“滚包”问题。

第三节 连续式纸板机结构的近代发展趋势

鉴于单长网纸板机仅能适用于抄制定量不超过 $500\text{克}/\text{米}^2$ 、紧度不大于 $0.4\text{克}/\text{米}^3$ 的单层纸板，多长网纸板机和长圆网混合纸机虽可用以抄制紧度达到 $0.6\sim 0.8\text{克}/\text{米}^3$ 、定量较大的多层纸板，但其结构比较复杂，多限于特殊需要，为此，大多数纸板还是在多圆网纸板机上抄成。如前所述，多圆网纸板机的成形部是由圆网网笼、网槽和伏辊组成，其网槽又多趋于采用逆流式或喷浆式结构（结构的详细介绍见本书第三章），上网浆浓度为 $0.2\sim 0.5\%$ ，纸板机车速一般为 $50\sim 60\text{米}/\text{分}$ ，最高有达到 $100\text{米}/\text{分}$ 的。多圆网纸板机制得的产品，纵横向物理强度比值较大，耐破度较低，层间结合力也较弱，但紧度则可达到 $1\text{克}/\text{米}^3$ 以上。宽幅门、车速较快的纸板机，又难以保证成形的匀度，纸板全幅定量波动也较大，定量波动范围一般在 $\pm 7\%$ 以上。这些都是有待解决的问题。

在国际上曾获得较广泛应用的干式网槽，有效地改进了产品匀度，并使全幅定量波动范围控制在 $\pm 4\%$ 以内。如图 2-4-8 所示，在干式网槽中，挡浆裙布是安设在靠近网槽底部，其结果是成形弧较短，因此，与逆流式网槽比较，上浆量约减少 20% ，车速也

略有下降。由此可见，改用于式网槽，虽能在一定程度上改进产品质量，但却不能适应提高车速，增加产量的需要。

为提高车速，改进质量，近二十余年来，人们曾致力于对纸板机成形部进行技术改造，创造了多种新颖的成形装置，在实际生产中已获得应用。就其结构而言，新颖成形装置大体上可分为下列四种类别：(1) 压力成形装置；(2) 真空（吸水）成形装置；(3) 夹网成形装置；(4) 混合式叠网成形装置。

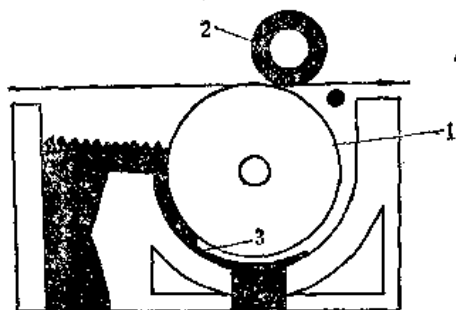


图 2-4-8 干式网槽
1—网槽 2—伏辊 3—挡浆裙布

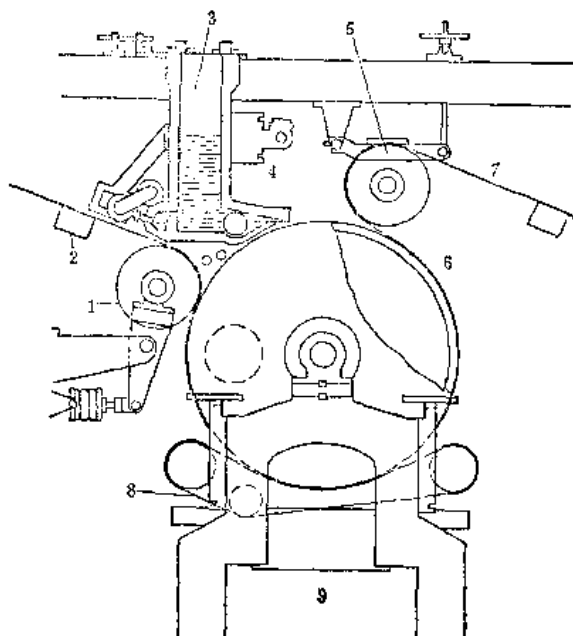


图 2-4-9 超圆网成形装置
1—伏辊 2—吸水箱 3—流浆箱 4—浆料出口
5—成形辊 6—网笼 7—毛布 8—支撑带 9—白水池

(1) 压力成形装置：主要特点是改造进浆系统，使浆料悬浮液取得一定的湍流速度，使纤维获得充分分散，并在成形区前构成一定静压头，然后喷射到网面，取得较好的成形。图 2-4-9 所示超圆网成形装置，即系采用与长网造纸机敞口式网前箱同一结构的流浆箱，使浆料直接流送至网面，开始成形脱水。当浆幅干度达到约 2% 时，即进入网笼与毛布之间，进一步受挤压脱水，最后通过伏辊，由毛布递送至下一组成形装置。毛布与网笼的包角约为 270° ，各台成形装置公用一床湿毛布。在网笼下方，设有无端短支撑带（由钻孔帆布、金属网或塑料网构成），随同毛布作短距离运行，逼使毛布和浆层紧贴网笼底部。支撑带一旦与毛布脱离接触，即通过转向辊作回程运转，直至再与毛布接触。在操作中，又利用抽风机，抽出网笼内的空气，使构成低真空度，这样做法将会有助于成形。此套装置的车速可达 150 米/分，产品纵横向抗张强度比值一般为 1.2~2.1。

在超圆网纸板机的基础上发展的超短网线板机，见图 2-4-10。如图所示，这是由一床湿毛布将几台短网纸机串联在一起的纸板机。由于成形区的增大，超短网纸板机的车速可达 300~350 米/分。

图 2-4-11 所示为压力成形装置的另一结构型式。如图所示，在流浆系统采取使纤维获得充分分散的措施，并使流浆沟沿一定角度趋向成形区。流浆沟的横断面积是可以调节的，上唇板也是可调的。网笼为无轴结构，由 2~4 个滚动辊支撑着。这类压力成形装置的上浆量约为 $50\sim 80$ 克/米²，最高车速可达 200~250 米/分，产品全幅定量波动

较小, 纵横向物理强度比值可望降至 2.2~2.6。

近年来出现的双流浆沟压力成形装置(图 2-4-12), 采用按 70~80% 和 30~20% 的比例, 分两次进浆的方法, 借以改进层间结合。这套装置的最高车速约为 150 米/分, 全幅定量波动范围在 $\pm 2\%$ 以内。

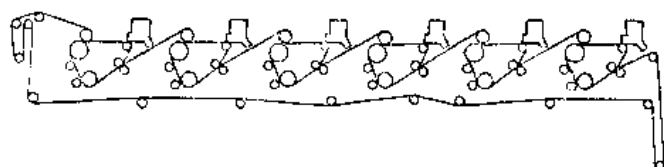


图 2-4-10 超短网纸板机成形部

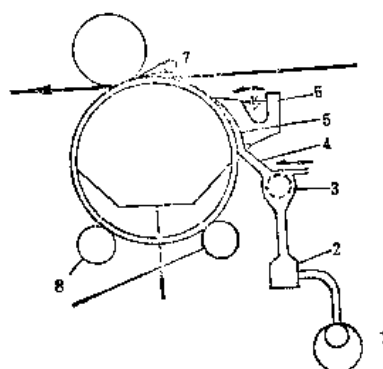


图 2-4-11 单流浆沟的压力成形装置
1—锥形多管进浆 2—混合室 3—匀浆辊
4—流浆沟 5—成形区 6—逆流 7—真空吸水刮刀 8—支撑辊

(2) 真空成形装置: 依据的基本原理与压力成形装置原理相同, 只不过是同时在网笼内抽真空, 从而在一定程度上抵消了网笼的离心力作用。如将图 2-4-11 所示压力成形装置的网笼, 改为无轴真空网笼, 即可构成真空成形装置。操作真空度一般为 $1.27 \sim 5.07 \times 10^3$ 牛顿/米² (125~500 毫米水柱), 视纸浆打浆度和车速而定; 上浆量约为 40~80 克/米², 最高车速可达 300~350 米/分。产品的层间结合良好, 纵横向强度比值小于 1.5, 全幅定量波动范围一般不超过 1.5%。

为解决“滚包”问题, MF 型真空成形装置(图 2-4-13) 将毛布和伏辊改设在成形辊下方。真空成形辊内部分为: 高真空成形区[真空度达 5.07×10^3 牛顿/米² (500 毫米水柱)]、低真空区(使浆层紧贴在辊面)、常压递送区(借助真空伏辊的抽吸作用, 将浆层递送至毛布表面)、第二低真空区(使水滴寄存于成型辊钻孔中, 而不致被抛出)以及清洗区(借助于离心力作用, 将钻孔中存有水滴抛入白水盘), 共五个区域。由于毛布和

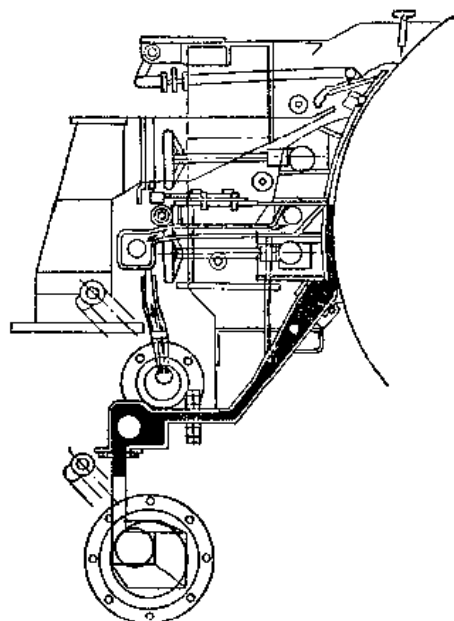


图 2-4-12 双流浆沟的压力成形装置

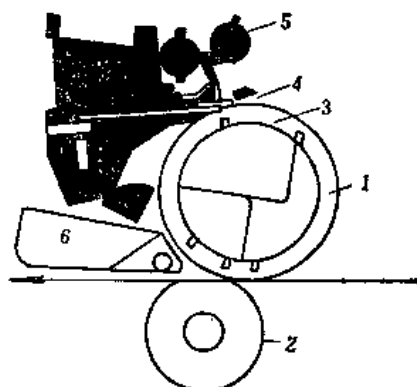


图 2-4-13 MF型真空成形装置
1—成形辊外壳 2—伏辊 3—成形室
4—上唇板 5—堰板调节器 6—白水盘

伏辊是设于成形辊下方，每台成形装置之间必须保持 300~350 毫米的高度差，方能组成多台 MF 型真空成形装置的连续操作。最高车速可以达到 300 米/分，定量波动范围在 $\pm 1.5\%$ 以内，纵横向强度比值可在 1.2~4.1 范围内进行控制。

(3) 夹网成形装置：一般夹网造纸机大都可适用于抄制 180 克/米² 以下的单层纸板。生产厚纸板用的夹网成形装置的示例之一，见图 2-4-14。如图所示，来自流浆箱的浆料在短网上成形脱水，当浆层随同短网回转至第一钻孔辊处，即与另一床短网接触，并借助外包塑料网的钻孔辊的离心力作用，使白水通过第二床短网向外抛出，落入白水盘中。浆层则仍由第一床短网带走，并在外包塑料网的第二钻孔辊处，转移到毛布上，然后由毛布递送至下一组成形装置。此套装置适用于抄制 130~200 克/米² 纸板，车速可达 200~350 米/分。除上述示例外，尚有其他几种类型的夹网纸板机，有些在结构上又与本书第三章所述夹网纸机相仿，故不拟一一赘述。

(4) 混合式叠网成形装置：大多是以长网为底网，配以 2~4 台其他型式的成形装置，构成叠网成形装置。自四十年代以来，特别是六十年代，出现了多种新颖的叠网成形装置，其中有一些已在生产中获得较广泛的应用。仅以图 2-4-15 所示的为例，这是一台安设在长网上的 A 型（或称 Arcu 型）组成的夹网成形装置。A 型成形装置为夹网装置，采用束管式流浆箱，浆料上网后，即在成形辊和夹网间成形脱水，浆层最后转到下方，与作为底网使用的长网部的浆层结合。其成形辊为外包塑料网或金属网的四室真空辊，各室的操作真空度由 4.56×10^3 牛顿/米² (450 毫米水柱) 逐渐增加至 $1.013 \sim 1.52 \times 10^4$ 牛顿/米² (1000~1500 毫米水柱)。控制上网浆速较网速超前 20% 左右，可制得纵横向强度比值在 2.0~2.4 左右的纸板。此套装置的最高车速可以达到 500 米/分。尚有其他几种型式的叠网纸板机，在这里不拟一一介绍。

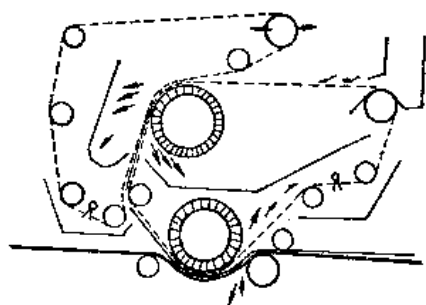


图 2-4-14 夹网成形装置示意图

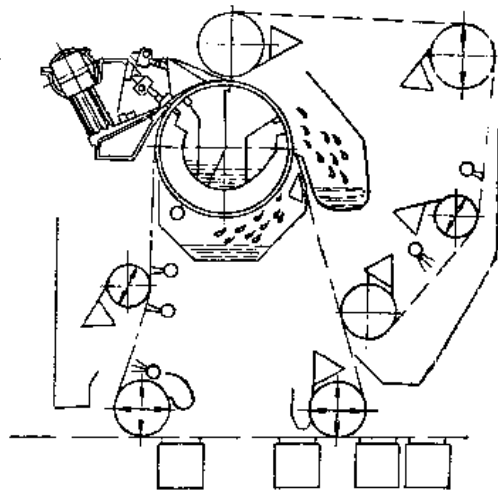


图 2-4-15 A 型夹网装置与长网部的组合

从上述简介可以看到，近代纸板机的技术改造主要表现在：废除圆网槽；参照中高速长网造纸机采用的流送系统和网前箱，设计纸板机所需的流浆系统；改进成形部的脱水能力，并采取措施克服离心力对提高车速所造成的障碍。随着成形部脱水能力的增加的实现，纸板机压榨部也已趋于取消预压榨辊的设置，而直接采用与长网造纸机压榨部相同的结构，即由三道正压榨（或由两道正压榨和一道反压榨）组成压榨部。干燥部则仍多以烘缸干燥为主，并以红外线干燥、气垫干燥、套管热风干燥等为辅助手段，与此

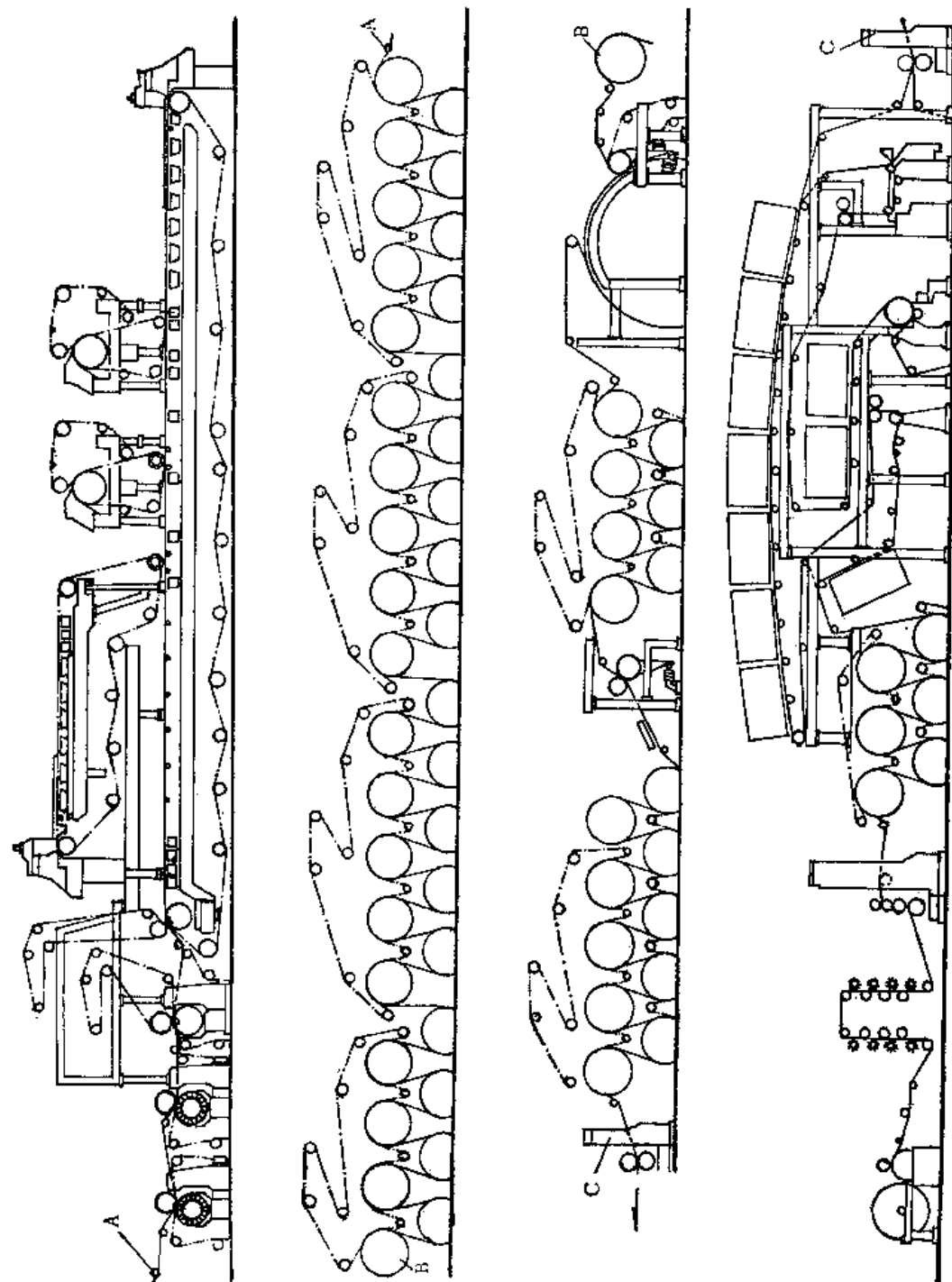


图 2-4-16 新型纸板机结构示意图

同时,又趋于增添表面施胶和机上涂布设置。

图 2-4-16 所示即为近代纸板机结构的典型示例。如图所示,网部是由一组长网,两组 A 型成形装置和一组短网所构成长网提供纸板底层,芯层是在 A 型装置上构成,挂面层则由短网供给。压榨部由三道正压榨组成:第一压榨线压 5.89×10^4 牛顿/米 (60 公斤/厘米);第二三压榨线压均为 9.81×10^4 牛顿/米 (100 公斤/厘米)。干燥部共分为三个部分:第一部分由 37 个烘缸(直径 1800 毫米),分四个传动组构成;第二部分由一个直径 6000 毫米大烘缸和托辊组成;第三部分包括七个直径 1800 毫米的烘缸。在第一部分烘缸组中,附有 21 个套管热风干燥装置。第二部分大烘缸和托辊间的线压达 9.81×10^4 牛顿/米 (100 公斤/厘米)。如图所示,纸板机附有表面施胶以及涂布装置。纸板经过表面施胶后,通过红外线预干燥、烘缸干燥和双辊压光,再进行涂布。经涂布后的纸板,再通过干燥、压光和光泽处理,然后予以卷取。光泽装置是由两组毛刷辊和金属辊构成,借助毛刷辊对纸板表面的作用,提高涂布纸板的光泽度。光泽装置附有除尘罩,赖以排去毛刷从纸板表面刷落的纸毛和涂料。此套纸板机抄宽 5400 毫米,最高车速 500 米/分,日产涂布纸板 380 吨。

除了纸板机主体结构的革新外,现代化纸板厂多已采用电磁流量计或其他型式流量计,分别控制各台成形装置的进浆量。在纸板机运用 β 射线仪,测定纸板定量和全幅定量波动情况,或采用水分探测仪,测定纸板水分含量,已在不少纸板厂中付诸实施,并进一步对这两个方面实行自控。有些纸板厂又已实现了电子计算机控制。

近年来,在平板纸板的裁切方面,开始运用激光技术或超高压 [$2.75 \sim 3.43 \times 10^8$ 牛顿/米² (2800~3500 公斤/厘米²)] 水针裁切技术,取得提高裁切质量的成效,同时又能将纸边宽度减至 3~4 毫米。

主要参考文献

1. 天津大学等院校:制浆造纸工艺学,中国财政经济出版社出版,1961年,第514~532页。
2. 北京轻工业学院:造纸工艺学,中国财政经济出版社出版,1962年,第349~366页。
3. 达洛夫斯基:纸板的生产(中译本),轻工业出版社,1959年。
4. G. E. Lennon: Present and future trends in multi-ply formers. Tappi 56 № 12:129 (1973).
5. 八十雄三:最近の板纸抄纸机,纸パ技协誌, 31, № 8:67~74 (1977)。
6. J. P. Laure: The Hogenkamp multi-jet cylinder former design and performance, P. P. C. 77 № 8:31 (1976).
7. E. A. Nykopp: Board forming concept advanced, P. P. I. 18, № 1:48 (1976).
8. T. Muskett: World's largest multi-former runs in at Continental Can. P. P. C. 76 № 9:24 (1975).
9. 天津市建筑设计院:煤气红外线,天津人民出版社出版,1971年。
10. F. B. Chamberlain: Paperboard applications for high-energy fluid jet cutter. Tappi 56, № 8:78 (1973).

第五章 加工纸和非植物纤维纸

随着生产和人类物质、文化生活的提高，纸的应用领域越来越广泛。对于纸的需要，不仅在数量上，更主要是在质量上，要求越来越高。由于植物纤维原料本身性质的局限，使原来的纸在很多性能上逐渐不能满足人们的需要了。比如，它缺乏耐水性和湿度变化时的尺寸稳定性；不易得到很高的平滑度、光泽度；成纸白度不稳定，易回色等，更不用说在一些特殊的应用领域中所要求的特殊性能了。因此对原纸进行加工来改善其性能，或者用其它非植物纤维原料造纸，以得到相应特性的纸张等技术，就得到了研究和发展。尤其是近年来，石油化工的发展提供了大量的原材料，使纸的加工技术和非植物纤维造纸技术得到了很大发展。新原料、新工艺、新品种不断涌现，在造纸的这个领域中，形成了生机勃勃的景象。

第一节 加工纸

所谓加工纸，就是根据所要求的特性，对原纸做某种加工所得到的纸种的总称。根据加工方法的不同，加工纸可分为以下几类：

(1) 涂布加工纸：系指采用涂料(由颜料与胶粘剂等混合调成)、树脂，或其它特殊物质，对原纸进行涂布加工所制得的纸类。

(2) 变性加工纸：系指原纸受化学药剂作用而显著改变了特性的纸类。

(3) 复合加工纸：系指经过贴合和表糊作业而制得的加工纸类。

(4) 成型加工纸：将纸制成各种形状；如纸袋、纸箱、纸杯、纸管、纸绳、纸制餐具等的加工纸。

原纸经过加工，不仅可改善原有的性质，使低质纤维原料提高了使用价值，而且可获得原纸所没有的特性，从而提高了质量，扩大了应用领域。

一、涂布加工纸

涂布加工的目的很多，比如改善纸页的表面性能，以提高适印性；提高纸页的强度及耐水、耐油性等，给纸以保护性；给纸以照象显影、记录模写、防锈防蚀等特殊性能等，也可以装饰为目的。可见，涂布纸的范围相当广泛，但需要量最多、形成涂布纸主流的是用于印刷的颜料涂布纸，比如铜版纸、普通涂布印刷纸等。因此，下面我们以颜料涂布纸为主来讨论涂布加工纸的生产。

(一) 颜料涂布纸

颜料涂布纸是将瓷土、碳酸钙、胶粘剂、助剂配合制成的涂料，经涂布装置涂于纸页表面而制得的加工纸。其生产过程一般如下：

涂料液制备→涂布机涂布→干燥→压光或表面整理→完成作业

作为颜料涂布纸的成分，除了原纸和颜料外，还有使颜料和颜料、颜料和原纸能相互粘结起来的胶粘剂；使颜料能形成稳定的分散液而采用的分散剂；以及为了使涂层具有一定特性而采用的各种辅助剂。显然，这些成分不仅影响成纸的质量和特性，而且影响生产过程中的操作和管理。下面，我们对这些问题做一下简单的讨论。

1. 原纸及其影响

涂布加工可改善原纸的某些性能，但决不意味原纸质量无关紧要。相反，它对涂布纸质量和生产有着极重要的影响。必须根据加工过程和涂布纸质量的要求，提出对原纸性能的要求。一般总的要求是：在涂布机上能满意地进行涂布；涂层均一，并且有良好的性能；用最少的胶粘剂，能获得良好的纸页与涂层间的结合；用最少的涂料，获得合乎要求的、最均匀的涂布纸。

(1) 原纸的成分：当前，原纸的原料多采用硫酸盐木浆，而且考虑到经济和原料来源问题，一般用70%的阔叶木浆，其余配用针叶木浆，以提高纸页的机械强度。因此，对于低定量的原纸，针叶木浆的配入量应相应高些。另外，当涂布的设备、速度、方法不同时，配入量也应不同，多者可达80%。但阔叶木浆抄制的原纸，易在印刷时造成涂层剥落，产生所谓“白斑”。这是因为浆中含有导管，由于它不能很好地与纤维交织，当它浮于纸面时，其上面的涂层就会随它一起脱落，影响成纸质量和印刷时产生掉粉。

用苇浆和木浆混抄的原纸生产涂布纸，也会产生这种“白斑”，这是苇浆中的苇膜浮于纸面时造成的。但这种纸病可采取下列措施改善它：加强浆料的筛选和净化，适当提高打浆度，对纸进行表面施胶或加强纸内施胶；在纸内加入胶粘剂，增加涂料中的胶粘剂，适当增加涂布量等。当前最有效的方法是表面施胶。对于苇浆，有人认为采用碱法制浆，并加强净化来提高浆的质量，然后采取表面施胶等措施，有希望提高其配比。

有的还在原纸中配入一定量的棉浆或高质量的机木浆。尤其是预热机磨木浆的出现，由于它纤维束含量少，纤维长且结合力强，湿强度较高，还可以提高原纸的不透明性和松厚度，所以被用做涂布印刷纸的配用浆料。

(2) 原纸的强度：原纸的强度影响着加工后涂布纸的强度，并且随着涂布作业的高速化，为减少加工过程中的断头等故障，对原纸的机械强度要求越来越高。同时要求原纸要有较高的表面强度(与前者也有关)，即表面纤维要与内部纤维良好结合，以防印刷时假掉粉，印刷裂层，内部分层起泡现象，以及在涂布时落到涂料内，影响涂料质量。表面强度低还会使导管、杂质等更易脱落，造成“白斑”或原纸表面易起毛，造成涂层不均匀等。

一般，除了浆的成分外，适当提高打浆度可使原纸强度有一定提高，而加填会使强度有所降低。表面施胶是增加表面强度的常用方法。对水性涂料的涂布加工纸原纸来说，要考虑干强度、湿强度、撕裂强度和表面强度四种强度。

(3) 原纸的制造方法：

① 原纸浆料的打浆：浆料的打浆程度不仅影响原纸的强度，而且影响纸页的紧度

和吸收性。一般要求原纸的浆料要作轻度打浆,以保证纸页有较好的吸收性,使涂料中部分胶粘剂可渗入纸页,造成纸页和涂层间的良好结合。同时可使纸质较疏松,减少了纸页的卷曲,保证了印刷时的弹性。打浆度太低不但降低了纸页强度,还会因吸收性太大而丧失加工时纸页的必要强度,并且大量吸收会使涂层中胶粘剂过度减少,影响涂层强度,在压光和印刷时产生掉粉现象。若打浆度太高,不但影响吸收性,还增大了纸页的变形性,易产生曲卷和折子,加工后的尺寸稳定性也不好。

② 原纸的施胶:施胶的重要作用是可以调节原纸的吸收性。一般施胶量增大,吸收性降低,而且施胶量过大会增大涂布时的纸页两面湿度差,从而产生卷曲和折子。为控制吸收性适当,以施胶度控制在0.75~1.0范围为宜。

对于低定量的纸页,可添加增湿强度树脂来提高纸页的尺寸稳定性,减少卷曲,尤其是可以提高涂布过程中的机械强度。

③ 原纸的加填:原纸加填的目的在于提高不透明度和白度,但填料的加入将降低原纸强度,故加填量不宜太多,一般为5~15%。

填料应有较高的白度和遮蔽力,并要求有较细的粒度,以免涂布时有较大的粒子脱落于涂料内,影响涂料的性质。

④ 原纸的均一性和整理状况:所谓均一性,就是纸纵横向上的定量、厚度、水分、纤维组织、平滑性等的均一程度。原纸的定量、厚度不均匀时,会造成涂布不匀,干燥不匀,并因为变形不一致而产生褶子、压光后的光泽也不均匀。若原纸的水分不均匀,对涂料的吸收将不匀,因此也会因变形不均匀而产生折子,并且由于涂层性质不均匀,降低印刷效果。

如果纸页的平整性不好,用气刀式或辊式涂布机涂布,将保留纸面的不平整性。但过于光滑的表面,会影响涂层和原纸的结合,因此应加强原纸的湿部整饰,而不要求干部有过高的整饰,纸机压光应轻些。另外,要防止在纸页成型后落上杂物,以免在涂布时落于涂料内,或在涂层表面造成“白斑”。

2. 颜料及其影响

颜料是涂料中的主要成分,其作用是:(1)填平纸面以提高平滑度,改善油墨吸收性,以适于印刷。(2)增加纸的白度、不透明度和光泽度。(3)改善纸的外观。当前可以采用的颜料很多,特性各不相同,必须根据涂布纸的质量要求及经济性等,作适当的选择。

(1) 颜料应具有的特性及其对涂布纸质量的影响:

① 颜料的白度和不透明度要高,即遮蔽能力要强,以提高涂布纸的白度和不透明度。

② 颜料的粒度要适当。一般粒度减小可改善白度、不透明度和光泽度。但粒度太小也不好(参见表2-5-1、图2-5-1及图2-5-2)。另外,随着粒度的减小,比表面积增大,使涂料粘度增大,流动性恶化,胶粘剂的需要量也增加。

粒子的形状也很重要,针状体会使涂料的流动性不好,而六角状及球状的流动性较好。并且球形粒子易形成多孔性的涂层,使吸墨性良好。

③ 颜料要易分散于水,以使涂料既有较高的固体物含量,又有较好的流动性及稳定性。

表 2-5-1 瓷土粒度和白度的关系

粒 径 < 2 微 米 者 (%)	白 度 (%)
50	83.7
80	84.5
95	86.0
超微粒, 大部分 < 0.25 μ	79.0

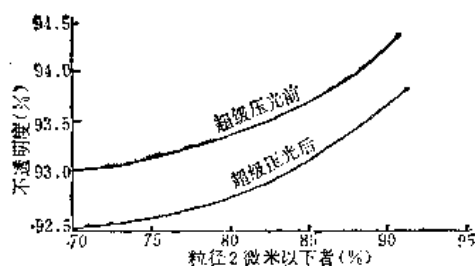


图 2-5-1 瓷土粒度和白度的关系

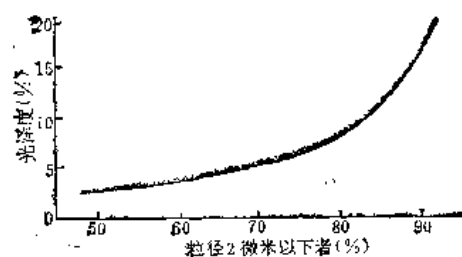


图 2-5-2 瓷土粒度和光泽度的关系

④ 要有较好的化学稳定性，与涂料中其它成分要有较好的适应性，降低胶粘剂消耗量(参见表 2-5-2)。

表 2-5-2 不同颜料的胶粘剂需用量

颜 料 种 类	干 酪 素 用 量 (%)
瓷 土	12~17
水磨天然碳酸钙	9~10
沉淀型碳酸钙	20~30
级 白	45~55

⑤ 颗粒硬度要低，砂石含量要少，否则将会增加对涂布压光、整饰设备和印刷机、印刷版的磨损。

⑥ 游离有色金属氧化物要少，以防止发生不规则漂色现象，造成整批纸白度不一。

以一种颜料很难满足上述诸性质的要求，所以近代多将几种颜料混合使用，以有效地利用各种颜料的特长。

(2) 几种颜料的特性：

① 瓷土：这是涂料最常用的颜料。它是一种天然的含水硅酸铝，也叫高岭土。化学组成为 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ，因产地不同，其组成和性质也不同，一般比重为 2.57~2.67，折射率约 1.56，白度约 80~90%。粒子呈六角形为宜，涂料用瓷土粒度为 0.1~30 微米，其中 2 微米以下者应为 70~90%。粒子遮蔽能力和粒度的关系可参见表 2-5-1。

瓷土是弱酸(硅酸)和弱碱(氢氧化铝)的盐,不同的瓷土,这二者的比率不同,因此其水悬浮液的 pH 值不同,可在 5.0~9.0 之间。这是瓷土的重要特性,酸度高会使蛋白质性胶粘剂增稠,降低流动性。另外,瓷土表面还存在着游离的酸根和盐基,具有电学性质,因此可吸附水分子,形成水化膜。这使瓷土容易在水中分散,并影响涂料的流动性和含水能力。

② 碳酸钙:涂料用碳酸钙有两种,其中水磨碳酸钙是由天然白垩粉磨制的。其组织紧密、涂料粘度较低,需用胶粘剂量较少,但因遮盖力和光泽度较差,在多级美术铜版纸中很少使用,多用于普通涂料印刷纸,特别是纸机涂布纸。常用的是沉淀型碳酸钙,是用 CO_2 通入石灰乳制得的。由于制造时可以控制它的粒度,因此可以控制它的胶粘剂用量和涂料粘度。

涂料用碳酸钙的粒度为 0.1~5 微米(粒度小于 0.1 微米,粘度将过多),而粒度 < 0.5 微米者为 90% 左右,其水悬浮液的 pH 值在 7.0 以上,最高可达 12,白度高达 93~98%,吸墨性好。和瓷土配合使用可提高涂布纸的白度、不透明度和适印性。但它的光泽差、粘度大,胶粘剂用量高,因此使配用量受到限制。

③ 硫酸钡:涂料用硫酸钡有两种,一种是由天然重晶石磨制的,因其粒度粗、白度差,很少使用。而多是用钡盐和硫酸盐溶液制得的沉淀硫酸钡。其粒度细而均匀,平均为 0.5~2.0 微米,白度为 95~98%,比重较大(4.3~4.5),折射率为 1.64,水悬浮液的 pH 值为 6.5~7.5。另外补光和化学稳定性好,与涂料中其它成分的适应性好,胶粘剂用量较瓷土少。但由于比重大,遮盖力差,除照相原纸外,通常不单独使用。

④ 钛白:即 TiO_2 ,是钛矿经处理而制得的表面粗糙的球状微粒,粒子细小而均匀,白度可达 98~99%,折射率很高(2.5~2.7)故遮盖力强,适用于薄纸的涂布。锐钛矿型钛白易在水中分散,可调制高浓涂料。而金红石型钛白则需用六偏磷酸钠或阿拉伯树胶作分散剂,由于它的粒度小而均匀(粒度 0.2~0.5 μ),所以并不构成对加工机械的严重磨损。钛白与很多胶粘剂都有适应性,胶粘剂用量和白土相当或稍低。但价格昂贵,一般只作配用颜料。

⑤ 缬白:这是用消石灰和硫酸铝(含铁量极少的矾土)制成的硫酸钙铝复盐,一般认为分子式是: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\sim32\text{H}_2\text{O}$ 。它和瓷土混用时,可提高涂布纸的白度、光泽度、平滑度、吸墨性。并可以提高干酪素的耐水性。但胶粘剂的用量约为瓷土的三倍,涂料液粘度也高。当温度超过 30℃ 时,涂料液的粘度还会逐渐增高。

⑥ 合成树脂颜料:近年来,聚苯乙烯树脂和尿素树脂等合成树脂颜料有了很大发展。它们和上述颜料相比有很多优点。以聚苯乙烯颜料为例,它是粒径为 0.5 微米左右的均匀球形粒子,比重仅为 1.05,折射率为 1.59,白度比白土高。在同容积比下,涂料液的流动性比白土好。粒子的球形结构使涂层具有多孔性,它的亲油性改善了吸油墨性,而热塑性可提高压光后的光泽度。它的低磨损性,可延长刮刀等涂布设备的寿命。

⑦ 其它颜料:白色颜料中尚有硫酸钙、亚硫酸钙、滑石粉、氧化锌、锌钡白、硅藻土等,但应用较少。还可采用氧化铁红、铬黄等无机有色颜料或立索尔红等有机有色颜料来生产有色装饰用涂布纸。另外,硅铝酸钠、硅酸钙、氢氧化镁、粉态氢氧化铝等人工造颜料也有了很大发展。由于它们的粒度细,白度高,遮盖力强,可代替部分钛白。

生产矾土时的副产品——硅铝酸钙，也是一种较好的颜料。

3. 胶粘剂及其影响

胶粘剂的作用如下：保证颜料和颜料及原纸和颜料的牢固结合；作为涂料液的胶体保护剂，使涂料液稳定；作为颜料的介质，具有适当的流动性以利于涂布；可以调节涂层对油墨的吸收性。

(1) 胶粘剂应具有的特性及其对涂布纸质量的影响：

① 对颜料的粘结力要强，否则胶粘剂的用量将增大，造成白度、不透明度、吸墨性等降低，而且因塑性降低，使压光效果变坏。图 2-5-3 是不同胶粘剂的粘结力。

② 与颜料的适应性要好，以不损坏颜料的性质；稳定性要好，以使涂料不变质；具有适当的流动性，以利于涂布作业，提高涂层的匀度。

③ 要有适当的粘度、保水性和成膜性，以防止涂料中液态部分过多的渗入纸层，使涂层形成过程中的均相变坏，影响涂料加工适性和涂层质量。

④ 应保证涂层有适当的吸墨性：有适当的塑性，以提高压光效果；颜色要浅，尽量不含杂质，并要有利于调料时的操作。

单用一种胶粘剂很难满足上述要求，近年来多采用混合胶粘剂。但混用时必须注意胶粘剂之间的适应性，一般蛋白质同类间，或淀粉同类间的适应性较好。而这两个不同类间的适应性则不好，往往使涂料的粘度增高。对于合成树脂胶乳，干酪素的适应性优于淀粉，但近来也出现了与淀粉适应性好的胶乳。

(2) 几种胶粘剂的性质：

① 干酪素：这是涂料中常用的胶粘剂，是用酸凝法从牛乳中分离出来的蛋白质。其粒度大部分应在 20~40 目间，粒度过细时，在水中易产生团粒，造成溶解困难。使溶解变得困难，且易产生泡沫。所以通过 60 目的细粉应尽量少。干酪素的脂肪含量在 2.5% 以下，否则易在涂布纸表面出现油斑，并影响粘着力，使印刷效果变坏。

干酪素的粘结力较高，对颜料有分散作用，耐水性很好。所以适用于生产较高级的涂布纸。其缺点是粘度较高，并且随着浓度的增加而迅速提高，故不适于纸机涂布。升温会使干酪素降解，粘度降低，长时间加热可使粘度永远降低，但粘着力也降低。当 pH 值在 10.5 以上时，也会使其迅速降解。一般涂料液的 pH 值为 9~10，此时干酪素亦可在室温下缓慢降解，故涂料液不应长期储存。

一般用碱作为干酪素的溶解剂。用碱不同时，对干酪素的粘着力、溶解性、耐水性、粘度、稳定性及色泽等有很大影响，所以用碱的选择很重要。一般 NaOH 可使干酪素的成膜强度高，与纸的结合力强，柔软性好，溶液粘度较低。但无缓冲作用，pH 值不易控制，碱量稍过即可使颜色变黑，粘着力降低，耐水性变坏。采用氨水时，干酪素的耐水性好、粘度低，但薄膜脆弱，易使干酪素水解(pH 值为 7.5 时亦可水解)。因此常将两种以上的碱混用来取长补短，表 2-5-3 是几种溶解剂的配方例。

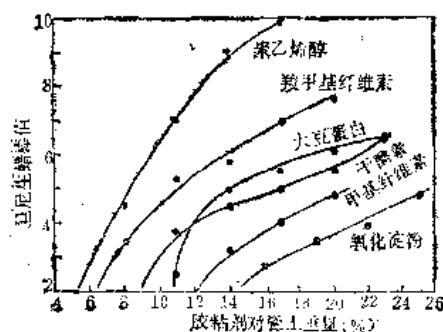


图 2-5-3 各种胶粘剂用量和涂层强度的关系

表 2-5-3

几种干酪素溶解剂的配方

成分 \ 配方号	1	2	3	4	5
干酪素	100	100	100	100	100
硼砂	3.5	8	5		
磷酸三钠	7.4				
NaOH				2.5	4
Na ₂ CO ₃		8			
氨水	1.82		10	(26°Be) 7.5	
水	400	600	600	550	550

② 淀粉：天然淀粉中含有直链淀粉和支链淀粉两种成分。前者含量为 17~27%，其特性是会使糊化的淀粉粘度增高，易凝胶化，而且使涂层硬化。所以胶粘剂用淀粉一般都经过变性处理，除去其中的直链淀粉。变性处理的方法很多，如氧化法、酶转化法、酸水解法、醚化法及离子化法等。而常用的是氧化淀粉，即在 NaOH 存在下，用 NaClO 氧化天然淀粉，控制其氧化程度，使之即降低粘度，又保持较高的粘结力（粘结力因氧化而降低）。

氧化淀粉的突出优点：粘度低，可调制高固体物含量的涂料（可达 70%），价格低廉，适于纸机涂布，对颜料的粘结力较好（低于干酪素），涂层较柔韧，可制得白度较高、适印性较好的涂布纸，对颜料有分散作用，泡沫和腐败现象较少。其主要缺点是耐水性低，压光后的光泽也不如干酪素。关于耐水性，近年来出现了很多改进方法（见“耐水剂”）。

③ 大豆蛋白：这是用碱浸法从榨过油的豆饼中提取出来的，纯度可达 95%。它的性质与干酪素类似，可作为干酪素的代用品。但大豆蛋白的分子量很大，故溶液粘度高。在溶解时，若用碱量过大或温度超过 70°C，将产生凝胶化。对于前一情况，继续加碱可恢复流动性，对于后一情况，应注意调制温度不超过 55°C。用过氧化氢氧化降解，可降低其粘度及热凝性。另外，大豆蛋白的耐水性不如干酪素，颜色较深，易起泡。用强碱溶解时，粘结力较强，用弱碱溶解时粘结力则较差。

④ 聚乙烯醇：这是由聚醋酸乙烯酯水解制得的，把水解时醋酸基被羟基取代的程度称为水解度。水解度越高，其水溶性越低，涂料胶粘剂多用水解度为 98% 者，可溶于热水。

聚乙烯醇对颜料的粘结力很高，成膜能力强，涂层的强度、白度、印刷后油墨的光泽均好。其缺点是耐水性较差，涂料流动性也差，以致影响涂层匀度。采用三聚氰胺等增湿强度树脂，或加入醋酸铅等可改善其耐水性。降低它的聚合度或水解度，可以使粘度降低（但粘结力也有所降低）。另外，与耐水的干酪素或流动性好的淀粉混合使用，也可以对其缺点有所补偿，但必须注意比例和相溶性问题，否则会造成涂层强度下降。

⑤ 合成树脂胶乳：合成树脂胶乳作为胶粘剂，可有一系列优点。比如流动性好，可调制高浓度的涂料液；粘结力强，耐水性高，可提高纸的干、湿强度，减少纸的变形性；由于具有热可塑性，可提高压光效果，获得高光泽度；使纸具有柔软性，可提高适印性，减少卷曲等。由于这一系列优点，再加上石油化工的发展，不断提供更优良的

树脂,使合成树脂胶乳的应用得到了日益发展。

目前作为涂料胶精前的胶乳有丁苯胶乳、丁腈胶乳、聚丙烯酸胶乳、聚醋酸乙烯胶乳等。但用量最大的是丁苯胶乳,表 2-5-4 是它的特性示例。这里,当苯乙烯与丁二烯的配比不同时,胶乳的性质将不同。比如苯乙烯量为 55~60 % 时,粘结力最强,苯乙烯量在 60 % 以下时,耐湿摩强度高,而涂层光泽度则随着苯乙烯量的提高而增高。因此,可以根据涂布纸的特性来选择其成分的配比。

表 2-5-4 丁 苯 胶 乳 的 特 性

固体物含量	48±1.5%
比 重 (25°C)	1.005
pH	10.5±1.0
粘度 (25°C 厘泊)	10~20
平均粒径 (微米)	0.2
表面张力 (25°C, 达因/厘米)	29~32
固体物比重	1.01
固体物折射率	1.57
苯乙烯:丁二烯	60:40

目前合成树脂胶乳多与干酪素、淀粉等混合使用,一般都在涂料其它成分混合好后再加入合成乳胶。当胶乳与淀粉混合时,应先以 3% 的干酪素与胶乳混合,作为稳定剂。另外,胶乳易受高价金属离子的影响而产生凝聚,甚至 pH 值低于 6 时也会凝聚,使用时应加入皂类及其它保护胶体作为稳定剂。我国某厂在缟白 (含 Al^{3+}) 和胶乳混用时,利用控制 pH 值的方法解决这个问题。即加胶乳之前先用 NaOH 调 pH 值至 10 左右,使 Al^{3+} 转变为 AlO_2^- 。后者与胶乳同电荷,可防止胶乳凝聚。当涂料稀释,使 pH 低于 9 时, AlO_2^- 将变为 $Al(OH)_3$ 凝胶而附于颜料粒子表面,于是可防止 Al^{3+} 的破坏作用。

近年来对于丁苯胶乳的变性和新胶乳的研制,大大改进了胶乳的稳定性,并使其它特性也得到了进一步提高。比如在丁二烯和苯乙烯聚合时,添加第三或第四单体。从而引入其它官能团。常用的是添加丙烯酸或异丁烯酸等不饱和羧酸,即聚合生成羧基变性胶乳,可提高对各种颜料和胶粘剂的适应性,并提高了粘结力、流动性、保水性及高剪切应力下的稳定性。另外由于能和耐水化剂反应,可提高涂层耐水性。若引入的第三成分是乙烯吡啶,则可改善涂层的耐摩性及光泽度。最近还发现聚丙烯酸、异丁烯酸等的酯类与胺类聚合可生成所谓两性胶乳,即在 pH 值为 9 以上时带有负电荷,可以很好地和颜料混合分散;而在 pH 值为 7~9 时,带有正电荷,可以和瓷土粒子的负电荷形成离子结合。所以调制涂料时用氨水调 pH 值到 9 以上,而在涂布后的干燥阶段,由于氨的挥发, pH 值降到 7 左右,即可在瓷土粒子和胶乳间形成网状的离子结合,使涂层具有优良的耐水性。

4. 其他辅助料的应用及影响

辅助剂是用来改善涂料液或涂层的性能,以满足对某种特性的要求,所以种类很多。但与前述的主剂相比,只起辅助作用,因此并不是全都必要,应按需要加以适当选用。

(1) 分散剂：主要作用是防止颜料凝聚和沉降，提高涂料的流动性及颜料与胶粘剂的混合性。常用的有多磷酸盐类和干酪素、阿拉伯树胶等亲水性物质。前者有焦磷酸钠、六偏磷酸钠等，它们在水中电离生成离子，其阴离子可被瓷土吸附形成双电层，因此可提高稳定性和水化度，改善涂料的流动性。干酪素和阿拉伯树胶可被颜料吸附，在粒子周围形成复盖层，从而防止粒子的相互吸引和接近，起到保护作用。最近，丙烯酸树脂等合成高分子物质也被用作分散剂，它们特别适用于淀粉类涂料，可使涂料液在较长时间中保持稳定。

分散剂用量视分散剂和颜料的种类而异，一般瓷土用多磷酸钠为自身重量的 0.25% 左右，而 CaCO_3 用 2~3%。缙白用 2~10% 的干酪素或阿拉伯树胶，少了将使涂料粘度增高。表 2-5-5 是几种分散剂及其适用对象。

表 2-5-5 分散剂及其适用对象

分 散 剂	适 用 颜 料
多磷酸盐	碳酸钙、钛白及一般无机颜料
干酪素，大豆蛋白	碳酸钙、缙白及一般无机颜料
羧甲基纤维素	碳酸钙
羧甲基淀粉	缙 白
氧化淀粉	缙 白
木素磺酸钠	碳酸钙
NaOH	对阳离子稳定的瓷土
Na_3PO_4	对阴离子稳定的瓷土、钛白
阿拉伯树胶	缙 白
非离子型活性剂	缙白、滑石粉

(2) 耐水剂：按作用原理，耐水剂可分为表 2-5-6 中所示的几种。尿醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂等热硬化型树脂，可作为淀粉的耐水剂；用量为淀粉的 2~20%（有增粘作用，不宜多加）。淀粉的不溶化反应型耐水剂（锌、铅、镉等金属盐），可与羟基反应，使亲水的羟基被遮蔽，从而提高了耐水性。

表 2-5-6 耐 水 剂 的 分 类

架桥反应型	甲醛水、乙二醛、六次甲基四胺、多聚甲醛、脲醛及三聚氰胺甲醛树脂等
不溶化反应型	Zn 、 Al 、 Fe 、 Ca 、 Zr 等二、三价金属盐。
憎水作用型	石蜡乳液、金属皂
耐水性物质	丁苯胶乳、丙烯酸胶乳等合成胶乳

蛋白质的不溶化可采用甲醛及其衍生物，甲醛水（37%）用量为干酪素的 2~5%。也可采用锌、铬、铝等二、三价金属盐，但有增粘作用，应适当限制用量。

(3) 消泡剂：由于搅拌等机械作用和某些成分的化学分解，涂料中会含有许多泡沫。从而影响涂料的性质，给操作带来困难。并在涂层上产生“针眼”“慧星条”等纸病。因此涂料中往往加入消泡剂，如松油、硅油、戊醇、辛醇、十三醇、三丁基醋酸、磷酸

三丁酯、石油的某些馏分等。其用量应酌情而定，过量会使涂层表面出现“凹斑”（一种云雾状的细小斑点）。添加后搅拌不匀，甚至随着涂料粘度和浓度的降低，都易引起这种“凹斑”。另外消泡剂往往有增粘作用。

(4) 软化剂：软化剂可增加涂层的可塑性，从而提高压光后的光泽度及适印性。并可降低涂料的粘性及其表面张力，从而提高涂层的匀度。另外可以减少超级压光时纸面的掉粉现象。一般可用肥皂（用量0.5~2.0%）、磺化蓖麻油、蜡乳剂、胺化合物等。

(5) 其他：除上述之外，涂料中还可采用其他辅助剂。如：为增加涂料液的稳定性，可加平平加（聚氯乙烯脂肪醇醚）、磺化蓖麻油等作稳定剂；为防止涂料腐败，可加硫、卤、汞、锡等的有机化合物及酚化合物、季胺盐等作防腐剂；为使涂料液具有适当的粘度，对于高粘涂料可加尿素、双胍胺、脂肪酸酯、胺类等作减粘剂。而对于低粘涂料，可加羧甲基纤维素、藻朊酸钠、干酪素、聚丙烯酸钠等作增粘剂；还可加入增白剂，提高涂层白度。

5. 涂料液的配方

涂料的主要成分是颜料和胶粘剂。由于对涂料性质的要求及所用涂布设备的不同，这两种成分的比例不同。一般颜料占75~90%，胶粘剂占10~25%，总固体量为30~70%。其他辅助剂也要酌情而定。表2-5-7是几种涂料液的配方。

表 2-5-7 涂料配方例（气刀式涂布机）

成 分	纸 种	铜 版 纸	胶 印 涂 布 纸	凸 印 涂 布 纸
瓷 土		70(公斤)	85(份)	80(份)
碳 酸 钙			5	20
硫 酸 钡		20		
纈 白		10	10	
多磷酸钠		0.45	0.3	0.3
干 酪 素		15	15	
豆 酪 素		3		
胶 乳		6	7	
氨 水		(比重0.91)2100毫升	(比重0.91)1.8	
碳 酸 钠		0.45	0.1	
氢氧化钠		0.5	0.3~0.5	
消 泡 剂		必要量	必要量	必要量
防 霉 剂		必要量		
抗 水 剂				适 量
氧化淀粉				25~30
硬脂酸锌		必要量		少 量
固 体 量		38%	35~40%	35~40%

6. 涂料液的制备

一般的调制方法是将颜料分散液和胶粘剂溶解液分别调制，然后在涂料混合器中混合制成。但也有先制成颜料的分散液（或胶粘剂溶解液），后在混合器中直接加入胶粘剂（或颜料）。

(1) 颜料分散液的制备：如果购入的瓷土已按涂布用颜料的要求加工过，便可直接

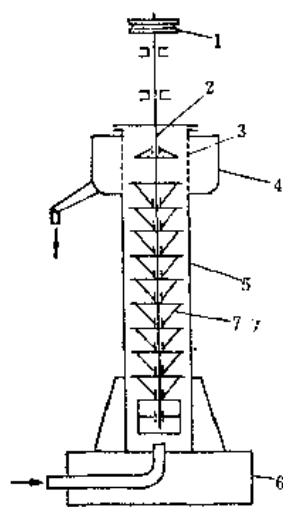


图 2-5-4 砂磨机结构示意图

1—皮带轮 2—轴 3—筛网
4—漏斗 5—筒体 6—底座
7—翼轮

把涂料混合器当作分散器（如图 2-5-6 的高速混合器），来制备颜料分散液。但国内纸厂都直接购入未经特别加工的瓷土，因此一般要在稀释后经筛选除砂，然后再过滤用砂磨机进一步磨细、分散。此时常用的分散装置有砂磨机、球磨机和胶体磨等。

砂磨机（见图 2-5-4）是在一个圆筒中设置一个可高速旋转的轴，轴上装有若干圆形的翼轮，筒内装满 $\phi 2 \sim 3$ 毫米的硼质玻璃珠。被隔膜泵由下方送入的瓷土悬浮液，受到翼轮搅动的玻璃珠的摩擦、撞击作用，而被磨细、分散，最后由上部的筛网滤出。根据需要，可将两三台砂磨机串联使用。

瓷土在分散装置内的分散，主要借助两种作用，除上述的摩擦和撞击所造成的机械分散作用外，还有为了防止机械分散的颗粒再凝聚而加入分散剂，即起到化学分散的作用。因此分散剂要和颜料一起加入分散器，用量以 0.2~0.5% 为宜。若用量过高，会因再凝聚作用而使颜料分散液的流动度变坏。

图 2-5-5 是一个具体的瓷土备料流程示意图。

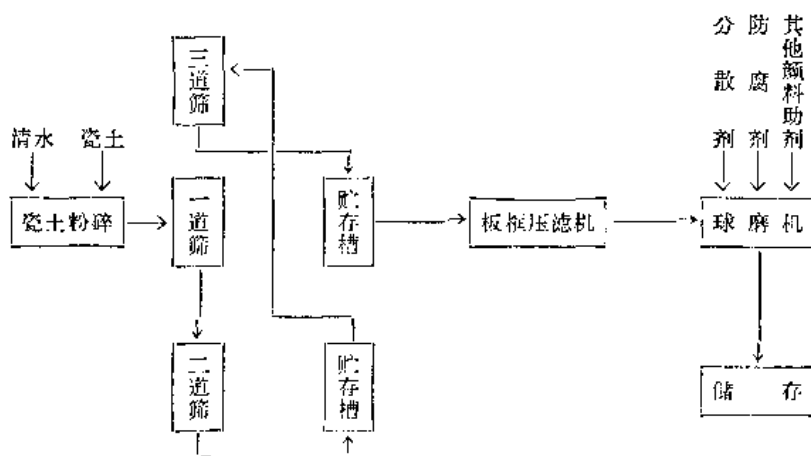


图 2-5-5 瓷土筛选及混合颜料液制备流程图

(2) 胶粘剂水溶液的制备:

① 干酪素的溶解: 以表 2-5-3 中的配方 1 为例, 干酪素溶解过程如下: 为了使碱液对于酪素的作用较容易, 可先用 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的清水浸渍、搅拌, 使其浸软, 并换水 2~3 次, 以降低酸性, 减少碱耗。将浸后的干酪素置于溶解锅中, 温热片刻, 将 Na_3PO_4 和硼砂投入, 待升温到 $30 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 时再加入氨水。溶解温度为 $60 \sim 65^{\circ}\text{C}$, 升温时间 15~20 分钟, 保温时间 10~15 分钟, 至完全溶解为止, 然后立即使用。

② 氧化淀粉的溶解: 先在溶解桶内加入水, 启动搅拌器, 将氧化淀粉缓缓加入(防止呈块状)。浓度以 20~30% 为宜。搅拌至均匀分散后, 加热到 $90 \sim 95^{\circ}\text{C}$, 搅拌 15 分钟以上使其溶解。

③ 聚乙烯醇的溶解：将其加到冷水中搅拌，混合均匀后，边搅拌边升温至 70~80°C，待完全溶解后冷却之。若聚合度过高，可在升温前加入一定量 NaClO ，使其氧化降解，以提高流动性。也可在溶解后加入少量的精制 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液和 NaOH 溶液，由此生成絮状的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，以提高聚乙烯醇的耐水性。

(3) 涂料液的混合：胶粘剂和颜料要在高速搅拌的涂料混合器中混合，图 2-5-6 是这种混合器的一例。图中的外套④可通冷热水，以调节涂料的温度。

在加入胶粘剂和颜料的同时加入消泡剂、防腐剂等各种辅助剂。应注意让胶粘剂加到颜料中，以利于分散；搅拌不应带入空气，以防产生泡沫；加入胶乳时，应注意胶乳的稳定性（见前述）；若采用缙白等含高价阳离子的颜料，应先用干酪素分散好再加入胶料和颜料已混合的涂料内，以保证涂料的稳定。根据这些原则，以表 2-5-7 中的胶印涂布纸用涂料为例，其混合操作的顺序应为：① 将颜料分散液加入混合器；② 起动搅拌器；③ 加入消泡剂；④ 加入胶粘剂的水溶液；⑤ 加入调色用色料；⑥ 加入缙白的分散液；⑦ 加入胶乳；⑧ 加入调整水，稀释到要求的浓度。

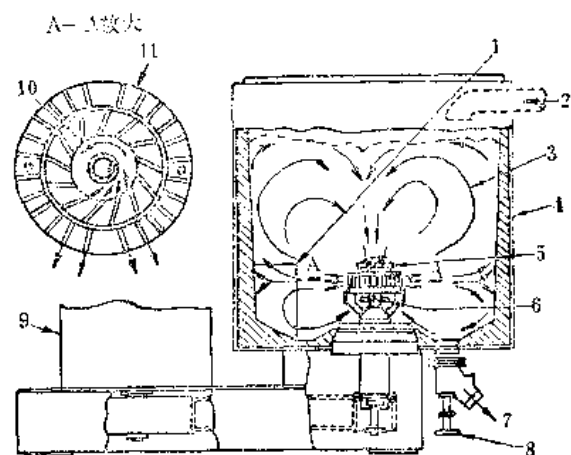


图 2-5-6 高速混合器

1—折流板 2—入口 3—流动状态 4—外套 5—上螺旋桨 6—下螺旋桨 7—出口 8—放料阀 9—电机
10—转子 11—定子

涂料要充分混合，并经 180~200 目筛过滤，除去杂质，再供使用。另外要注意涂料新鲜，以防胶料变质，一般配好后应在 3~4 小时内用完。

7. 涂料液的性质

从涂布纸的质量和涂布作业的角度看，要求涂料有适当的粘度，从而有适当的流动性，以保证涂料在纸面上很快流平，使涂层均匀，表面平整；并要有适当的渗透性，使涂层与纸面结合良好，能适当抑制胶粘剂的迁移，得到质量良好的涂层；涂料稳定性要好，泡沫少，以利于操作等。体现涂料性质的主要质量指标如下：

(1) 固体物含量：车速越高，越要求涂料有较高的固体物含量，尤其对于纸机涂布，更为重要。这是因为，固体物含量高，可以减轻干燥部的负荷，有利于提高车速。同时可以改善涂层的强度。但带来的困难是涂料粘度将因此增高，这就限制了固体物含量的提高。由前面的讨论可知，对此产生影响的主要因素是涂料的组成及 pH 值。而对固体物含量高低的的要求，则与涂布机的种类也有关。

(2) 流变性：涂料的流变性就是它受力时的变形和流动特性。对于水等纯净的流体，稍微受力即可产生流动，且流动服从牛顿定律，即相邻流层间的剪切速度和所受剪切力的大小成正比。其比例系数称为粘度。若用图象表示，可得图 2-5-7 的曲线 1，其斜率为粘度的倒数。

悬浮系的流动特性则与此不同（称为非牛顿型流体，而上述的水等被称为牛顿型流体）。图中曲线2表示塑性流动。其特点是：悬浮系中粒子的相互作用，可形成能抵御外力作用的内部结构，只有剪切应力超过某一极限，才能破坏这种内部结构而产生流动，但流动特性仍为线性。我们称开始流动时所需的最小剪切应力为屈服点，流动后的粘度为塑性粘度，而流动前表现出来的粘度为结构粘度。

曲线3为假塑性流动。它通过原点(无屈服点)，随着剪切应力的提高，其内部结构不断破坏，粘度也越来越低。

曲线4为塑性触变型流动。它有屈服点，当流动开始后，粘度随着内部结构的不断破坏而降低（称为表现粘度）。触变性与单纯的假塑性的差别在于：后者的剪切速度和剪切应力基本一一对应，即不受时间影响。但触变性则受时间影响，即在其剪切应力作用下，流体不能立即得到一个稳定的速度，而是内部结构的破坏和重建要经过一定时间才能达到新的平衡。剪切应力撤消时，内部结构的重建也是时间的函数。若让剪切应力从高位下降，由于结构不能立即重建，下降曲线成直线，与上升曲线组成闭环。其面积可表示触变性的。除塑性触变型流动外，其它基本型（如假塑性）流体也可有触变性。

曲线5为胀流性流动。其粘度随着剪切应力一起增加，增加的原因有二：一是几何效应，即在静止时，悬浮粒子因重力等作用，相互交错排列，形成紧密的充填状态。而外力作用会破坏这种状态，使粒子棱角相触，间隙增大，体积膨胀，运动时摩擦加剧，粘度增加。二是凝聚作用，即在流体力学的剪切力和压缩力作用下，粒子产生凝聚。使粘度增加。

涂料的流动特性要复杂得多，甚至可表现为上述各种基本流型的综合性状。其主要影响因素有：固体物容积比、温度、颜料种类（粒径、形状、水化程度等）、胶粘剂的种类及用量、粒子凝聚程度（分散剂用量）等。

一般，固体物含量高，粘度和屈服点即高。对于干酪素型涂料，固体物含量低时呈牛顿型流动，高时则具有塑性和一定的胀流性。高固体含量的淀粉型涂料，具有明显的触变性。瓷土含粗大粒子（8~10微米）较多时，涂料呈胀流性，而含微细粒子（0.8~1.0微米或更小）多时，则呈触变性。水化能力低的瓷土涂料可呈胀流性，而高者则可改善流动性。另外，凝聚性颜料将使粘度和屈服点增高。

图2-5-8表示高固体物含量的瓷土-胶乳系统的流动特性。

V_c 是临界剪切速度，在此之前，剪切应力的增大，不断破坏凝聚结构，使粘度降

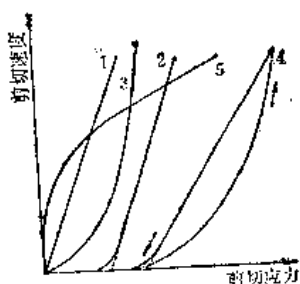


图 2-5-7 各种流动形态的特性曲线

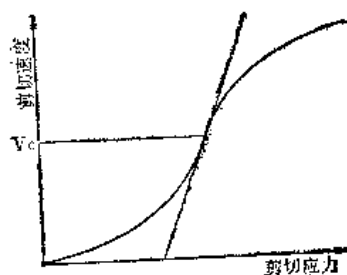


图 2-5-8 瓷土-胶乳系统的流动特性曲线

低。在 F_c 点处，粒子完全分散。当剪切应力进一步升高，粒子受此力作用又产生凝聚，表现为胀流性。 F_c 值随粒径、胶粘剂粘度、固体物含量的提高而降低，随胶体稳定性的提高而提高。 F_c 值越低，胀流特性越明显。另外粒度不均也会使胀流性增强。

涂料的粘度大部分由胶粘剂提供，胶粘剂用量高，其粘度即较高。胶粘剂和颜料的适应性也很重要，否则会发生增粘现象。

涂料流动特性的选择应视涂布设备而定。比如刷式涂布机靠毛刷刷平涂料，若流动性不好，涂料不能自动流平，将残有毛刷印。故应采用牛顿型或稍带胀流型的涂料。而辊式涂布机的涂料则可有较高的屈服点，最好为触变性。因为在涂布辊的剪切作用下，它将有较好的流动性，以形成平整表面。而涂后的增粘作用可使涂料不致过多地渗入原纸。对于辊涂式刮刀涂布机，由于在涂布辊涂布后要经刮刀刮平，触变性将使涂后的涂料凝聚，在刮刀处产生道子，所以要求涂料为牛顿型或稍有假塑性。

(3) 容积比及其他：前述的固体物含量，多指颜料对涂料的重量比。而在讨论涂料流动性时，有时采用颜料容积对涂料总容积的比，简称容积比。这样可排除颜料重度的影响，便于不同颜料的特性比较。容积比对涂料性质的影响与前述固体物含量基本一致。但涉及到几何效应的影响时，则表现得更为直接，比如悬浮系的容积比增加到一定程度时，将表现出胀流特性(CaCO_3 为55%， BaSO_4 为39%)。

保水度是衡量涂料保持自身水分的能力的指标。它直接影响水分向原纸的渗入及胶粘剂向表面的迁移。其主要影响因素有：胶粘剂的种类及用量、涂料的分散及水化程度等。一般胶粘剂用量高，涂料粘度大，颜料粒度小，而水化程度高，都会使涂料的保水度提高。

由前面的讨论可知，pH值对于酪素等的粘结力、粘度、稳定性等都有影响。此外pH值高有利于涂料向原纸中渗透，对重施胶的纸有利。但pH值高，泡沫易增多，一般控制在7.0~9.0。

8. 涂布作业

涂布就是在涂布机上，将调好的涂料均匀地涂于纸面上的操作。它可在装有涂布设备的纸机上一次完成，即所谓机内涂布；也可在单独的涂布机上进行，即所谓机外涂布。这二者所用的基本涂布设备是一样的，只是前者将涂布和干燥设备置于纸机的压光和卷取之间(亦有用施胶压榨涂布者)，而后者是另立单机。

(1) 涂布设备及特性：当前的主要三种涂布设备是气刀式涂布机、辊式涂布机和刮刀式涂布机。

图2-5-9所示的气刀式涂布机，借涂布辊1从涂料槽6中汲取涂料，并涂于纸上。纸页靠上下可调位的压纸辊2将纸压附在涂布辊上。气刀4将纸面上的涂料喷布均匀，并吹落多余的涂料。涂好后的纸页由吸引箱5牵引去干燥。

图2-5-9右图为气刀结构的一例。在涂布操作上，对气刀的几个特性参数要求较严格。一般，刀口间隙为0.4~1.0毫米；刀缘距衬辊3~7毫米；刀角(与纸面)90~110°；气压的大小视车速、涂料粘度而定，一般为 $0.392 \sim 3.43 \times 10^4$ 牛顿/米²(0.04~0.35公斤/厘米²)。

辊式涂布机以涂布辊向纸面施以涂料。图2-5-10的(1)、(2)分别是平辊式和凹辊

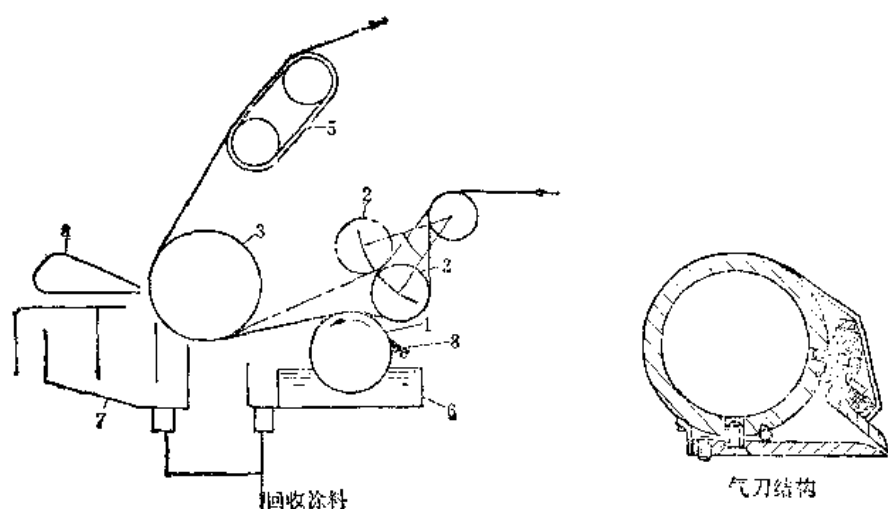


图 2-5-9 气刀式涂布机

1—涂布辊 2—压纸辊 3—衬辊 4—刮刀 5—吸引箱 6—涂料槽 7—涂料回收槽
8—限量刮刀

式双面涂布机，分别去掉(1)中的 1、2 及(2)中一侧的 2、3，即为单面涂布。二者不同之处在于：前者的中间辊是金属制的平辊，起匀布涂料的作用，而后者的中间辊是凹辊，即辊面制成菱形和正方形洼窝的金属辊。对于一定的涂料，辊面的洼窝数和深度决定着涂布量。

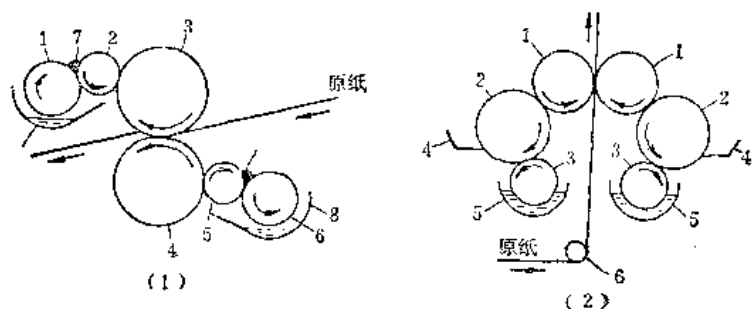


图 2-5-10 辊式涂布机

(1) 双面涂布平辊涂布机
1、6—喂料胶辊 2、5—中间钢辊 3、4—
涂布胶辊 7—涂料 8—涂料回收槽

(2) 双面涂布凹辊涂布机
1—涂布胶辊 2—凹辊 3—喂料辊
4—刮刀 5—涂料槽 6—展纸辊

刮刀式涂布机的种类很多，图 2-5-11 是拖刀式涂布机(图中 α 是刮刀倾角 e 是刮刀延长部分)。其刮刀由 0.3~0.5 毫米厚的硬弹簧钢制成，刮刀同时为涂料槽底，并借气缸压向纸面，呈挠曲状态。纸页的运动将带动涂料向下运动，如此产生的动能及涂料液的静压能和刮刀的弹力形成平衡，并影响着涂布量。

表 2-5-8 是上述三种涂布设备的特性比较。由于刮刀式涂布机的一系列优点，再加上最近可使刮刀在运转中调节其角度和位置，并出现了适用性较好的双面刮刀涂布机，所以它的应用更加广泛。即使用气刀式或辊式涂布机，也往往采用刮刀式涂布机作底层涂布(预涂)或表层涂布，来提高表面平滑性。

另外尚有毛刷式涂布机和刮棒式涂布机(图 2-5-12)等，但由于车速和所要求的涂料

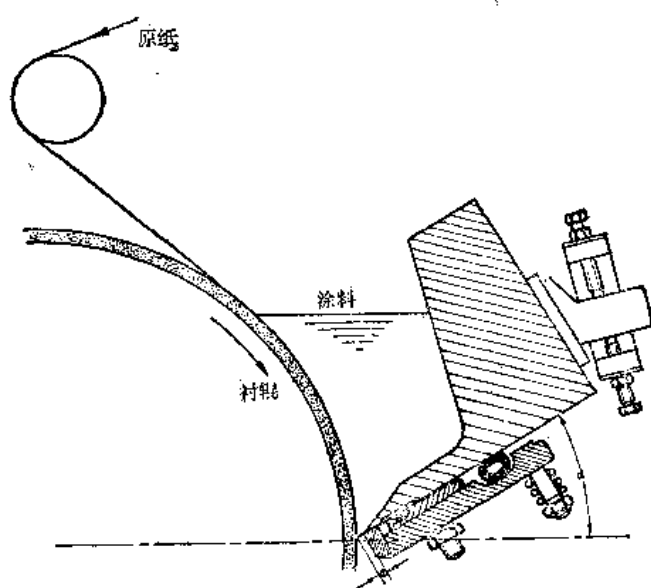


图 2-5-11 拖刀式涂布机

表 2-5-8

涂布机特性比较

涂布机	决定涂布量的因素	涂布面	运转条件				备 注
			最高车速	涂布量	涂料浓度	涂料粘度	
气刀式	纸页吸收性 车速 气压 涂料浓度和粘度	涂布面 原纸	600 米/分	10~35 克/米 ²	20~43%	50~500 厘泊	1. 表面状态及涂层自身匀度好 2. 气刀吹落的涂料粒粗、质杂、有泡沫, 需另行处理 3. 注意气刀的位置、角度、风压、开口, 风口不能夹有杂物, 以防涂层出现条纹
辊式	线压力 辊子硬度 辊子相对速度 涂料浓度和粘度	涂布面 原纸	600 米/分	15~7 克/米 ²	50~65%	1000~ 3000厘泊	1. 涂料膜随纸页脱离辊面而破裂时, 表面产生脉纹。辊子直径、硬度、线压、表面速差、涂料粘度、保水性等都对此有影响 2. 涂布量不易调节
刮刀式	刮刀的弹性 车速 涂料浓度和粘度	涂布面 原纸	1000 米/分	5~15 克/米 ²	54~64%	1000~ 50000 厘泊	1. 表面平滑性好 2. 刮刀寿命短, 需经常停机更换 3. 表面易出现线状道子 (刀缘有缺陷或夹有杂物, 或使用高剪切力下易凝聚的涂料)

浓度都低, 这两种仅用于纸板涂布。

(2) 纸机涂布的特点: 纸机涂布可以在抄纸的过程中完成涂布加工, 设备紧凑, 产量较高, 还可以用于凸版纸和新闻纸的涂布, 因此不仅提高了产品质量, 而且相对于涂布机涂布, 其成本降低了。当前世界上纸机涂布的涂布纸产品在 70% 以上。

由于纸机干燥能力和产量的要求, 纸机涂布都采用高浓涂料, 设置辊式或刮刀式涂布设备, 尤其后者更适于现代的高速化。涂料胶粘剂采用淀粉, 不仅可调制高浓涂料, 而且不易产生粘缸现象。

浆料的配比、定量、抄宽、涂布量等不宜频繁变动, 所以纸机涂布仅适于生产单一品种。另外, 抄纸部分和涂布部分的断头会互相影响。

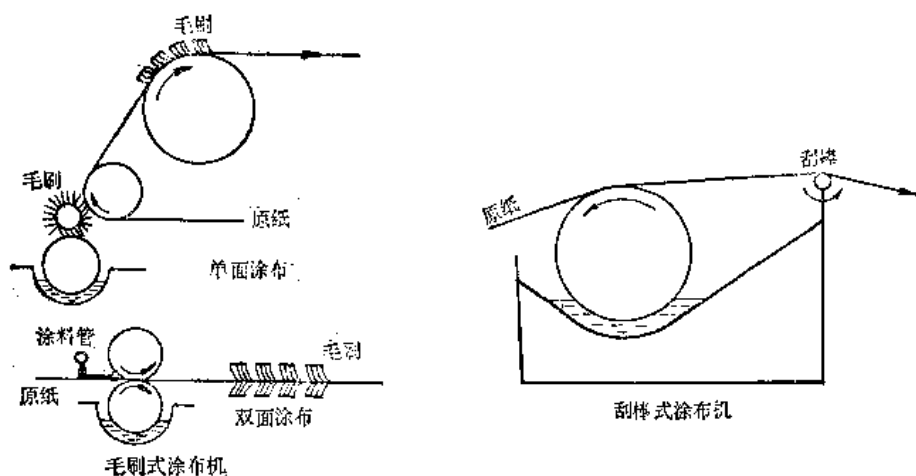


图 2-5-12 毛刷式和刮棒式涂布机

9. 干燥与压光

(1) 干燥设备：图 2-5-13 是桥式干燥器示意图。喷嘴中的热风喷出速度可达 20~50 米/秒，温度达 120~160°C(瓷土涂料)。其内部托辊排列成桥型，以减轻纸页的卷曲，并利于纸页和辊子接触，使其运行平稳。

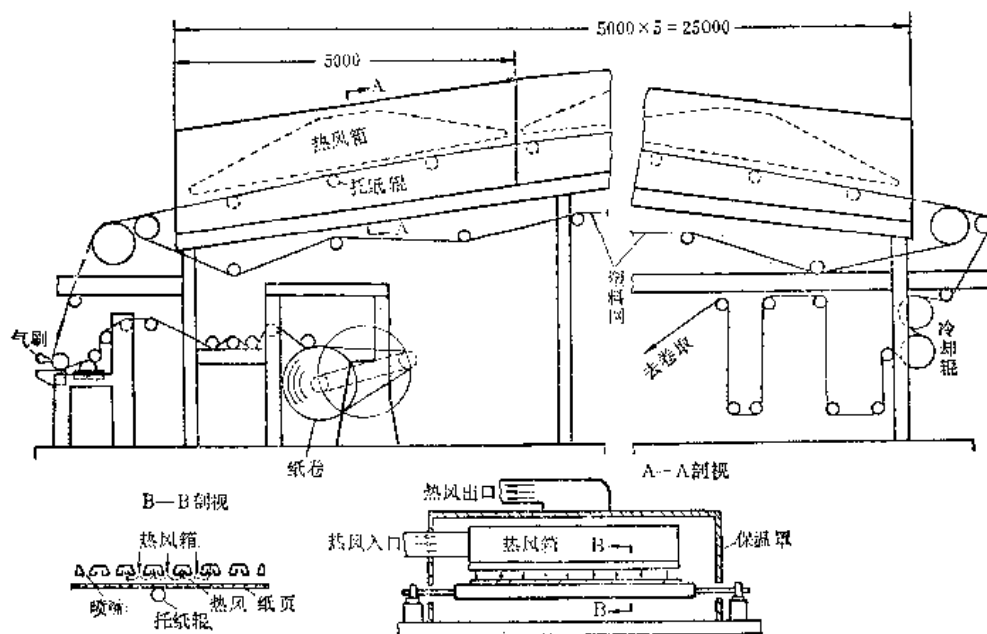


图 2-5-13 桥式干燥器

把热风喷嘴排布在烘缸的周围，使纸页受烘缸的承托，可将风速提高到 50~80 米/秒，即所谓高速热风干燥器。它可以防止纸页串动，提高运行速度，缩短干燥时间，减少占地面积。近年来，又进一步将热风喷嘴如图 2-5-14 那样上下相间排列，利用气流的承托，使纸页在空间呈正弦线运行，即所谓气垫式干燥器。它可由两面同时干燥，热风温度可沿幅面调节，涂层不受损伤，适于双面涂布纸的高速干燥，另外还有不易卷

曲、不出褶子等优点。

有的还采用挂杆式干燥器，即纸页悬挂在若干运行的木杆上，由下方供热空气，由于干燥时间长，可使干燥后的涂层水分较均匀，但纸页上下变形不均匀，易卷曲，有挂杆印等。还有一种所谓直通式干燥器，让纸页在隧道中由若干个热风管上通过，边干燥，边受热风承托，可在湿状态下无接触，适于双面涂布的纸页。另外，也可采用红外线干燥器等。

(2) 干燥影响因素：影响纸机干燥的某些因素，在这里也适用，这里再强调以下几点：

① 为提高干燥速度，近年来都尽力提高热风温度，甚至用液化石油气及重油等燃烧的烟气直接加热空气，产生高达 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的热风来吹出干燥，但高温干燥需防止过干燥，否则将降低涂层强度和压光效果。

② 涂料的保水度高，以及含水量大（各成分水化度高），都会延长干燥时间。

③ 热风速度决定着纸面上湿气膜破坏的程度，故影响传热效果，气垫式干燥器的热风速度可达 90 米/秒。

④ 干燥过程中纸页卷曲的原因很多，如收缩不一致，纸页匀度不良，水分不均，横向的气流性状不同等。改进措施是：选择水分变化时变形较小的原纸及收缩较小的涂料，保持横向干燥均匀，在涂层的反面涂水使纸两面水分趋于一致等。

⑤ 胶粘剂的迁移：即干燥过程中，随着涂层表面水分的蒸发，胶粘剂由涂层内部向外表面迁移。适当的迁移，有利于提高表面强度和印刷光泽。但过度迁移会使涂层吸墨性过低，影响印刷效率。在高温快速干燥时，要注意水分剧烈蒸发造成的迁移过度现象。对于涂料本身，其保水度影响最大。

(3) 压光：多数涂布纸要经超级压光，可采用普通的 10 辊或 12 辊超级压光机。但纸辊硬度比普通纸要低，线压力也应低。影响压光的主要因素是涂层的水分和涂料的成分。适当提高涂层的水分含量，可提高平滑度，但水分超过 $5\sim 6\%$ 时，会产生压黑现象（因压紧或反光性减弱而造成的白度降低），含级白的涂料，这种临界水分值将更低。至于涂料成分的影响，可参见前述。

(二) 树脂涂布纸

树脂涂布纸是将树脂涂布于原纸表面，以提高纸的防油、防水、不透水等能力，或提高电绝缘性，或作为空气、柴油等的过滤、净化，改善纸的外观等。以提高纸页保护性能为目的树脂涂布是这个领域的主体。

1. 树脂薄膜的基本特性

为提高保护性能，树脂应有很好的成膜性，与原纸的结合性，防水、防油及防潮性，热封性，抗老化性，机械强度，以及无色、无味无毒、不发粘等。其次要求有较好的光泽，印刷性及染色性等。各种树脂的性能不同，应根据涂布纸的性能要求来选择。

决定上述诸性质的本质，在于树脂本身的分子组成、结构、分子量及分子间的排列状态等。一般，分子量较高、分子间作用力较强，树脂成膜性能就好，机械强度也高。

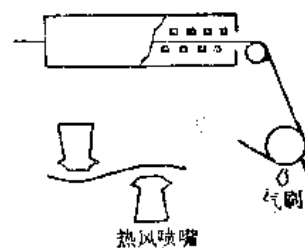


图 2-5-14 气垫式干燥器示意图

若分子量太高,分子间作用太强,将使薄膜变脆,熔点增高,失去热封性。反之此二者较低,薄膜较柔软,甚至发粘。

~不同树脂与纸页的结合型式不同,可有机械结合、偶极结合、氢键结合和共价结合。其结合能力渐次增强。一般,聚乙烯、乙基纤维素、聚氯乙烯等非极性物质与纸页结合不良,为机械结合。而极性树脂和纤维间可分别形成其他三种结合,结合能力按烷基、脂基、氯代亚甲基、二氯代亚甲基、丁烯基、羟基的顺序增强。

薄膜的挠曲性还与增塑剂的用量及薄膜厚度有关,树脂的老化对挠曲性及其他强度影响也很大。大部分树脂老化后,都可形成空间结构,使薄膜变硬、变脆。

薄膜的透气性也是一个重要特性,气体可以两种方式透过薄膜,即由气孔透过和溶解渗透。若树脂不能形成连续的薄膜,前者即为主要的。若为成膜树脂,则主要以后者为主,即气体先经外表面溶解于薄膜中,然后扩散到薄膜的背面逸出。渗透的程度取决于气体的种类($\text{CO}_2 > \text{O}_2 > \text{N}_2$)和薄膜的性质。但也受外界条件的影响,对于水蒸气,湿度增高或温度上升,都会加快其渗透速度。

2. 清漆或溶剂涂布

这种涂布方法是把聚乙烯、聚苯乙烯及某些纤维素衍生物等成膜树脂溶于醇类、酯类、丙酮等有机溶剂中,制成漆料。然后将其涂于纸上,挥发掉溶剂,即可形成连续的树脂膜。由于采用大量溶剂,也被称为溶剂涂布。漆料中可加入马尼拉脂、松香及其衍生物等非成膜树脂,以提高涂层的硬度和光泽度,也可加入蓖麻油、硬脂酸盐等增塑剂,以提高涂层的柔韧性。

溶剂涂布可获得较紧密的薄膜,适当配比各成分,可获得防油、防水、防潮及热封等性能。可用来生产装饰用途的包装纸、人造革等。缺点是溶剂不易回收,易着火。

3. 乳胶或胶乳涂布

乳胶和胶乳都是树脂的水分散体。前者不含其他溶剂,而后者则利用部分其他溶剂制成水分散体。由于适当地配料,它们可以在涂布后形成强韧、坚固的薄膜。根据所用树脂的性质,可获得耐油、耐药品、防潮,耐磨等性能。产品多用于防护和装饰。

与溶剂涂布比较,这种方法无毒、不易燃、较经济;树脂的分子量对水分散体的粘度无影响,故流动性较好,而且固体物含量和粘度可调。但它不易形成连续性良好的薄膜,干燥时间长,纸页易卷曲,而且胶乳还有不稳定性及泡沫等问题。

4. 有机溶剂分散涂布

这种涂布方法所用的涂料,是把分子量较高的合成树脂分散在非溶剂的有机液体中,制成高浓度脂状分散体。然后涂于纸面,进行干燥。在室温下,作为分散剂的有机液体是树脂的非溶剂,而在干燥加热时,则具有溶解作用,使树脂融合成连续的薄膜。这种薄膜具有耐磨和柔韧性,但因分子量高,热封性不佳。

5. 热融涂布

这种涂布是将热融性的蜡质或树脂,在热融状态下涂于纸面,然后冷却,形成光滑而坚硬的薄膜。由于热融性树脂的进步,这种涂布纸可具有防潮、耐水、耐油及热封等特性,广泛应用于冷食、肉类等包装及其他防护用纸。另外它可以不用溶剂,不易起火,干燥快,成本低。在高温下纸页易过干燥而脆化,一般可通过提高车速并立即冷却

的办法解决之。

6. 挤压涂布

图 2-5-15 是挤压涂布机示意图。纸页在退纸架到压贴辊之间，先经红外线预热，除去其中水分，以利于薄膜与纸层结合。当纸页通过压贴辊与冷却辊间时，与挤塑机喷出的树脂融膜贴合，并借加压辊的压力结合起来。

用于挤压涂布的树脂主要是低密度聚乙烯，也可采用聚丙烯、尼龙、聚酯、高密度聚乙烯等。它们与纸面的结合可分为机械结合和化学结合。前者是将熔融的树脂，借挤压而浸入表面粗糙、有孔隙的纸页(如牛皮纸)内，经冷却，固化而形成结合；而后者是在纸面上涂以钛酸酯溶剂等药物，来使二者结合起来。

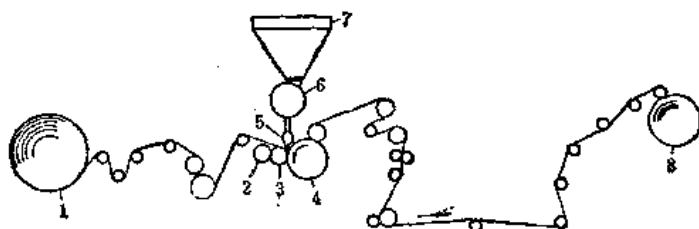


图 2-5-15 挤压涂布机

1—原纸 2—加压辊 3—压贴辊 4—冷却辊 5—塑模 6—挤塑机 7—加料斗
8—卷取

(三) 其他涂布纸

1. 铸涂纸

所谓铸涂，就是把纸上仍具有流动性的涂布面，与经过加工的非粘着表面接触，待形成非可塑性的涂层后，再剥取下来的加工方法。涂料可为水性或有机溶剂性的，也可可为热融性的蜡及合成树脂，因此涂层可加热干燥，也可冷却凝固。非粘着表面可加工成镜面或麻面，制品也可相应得到高光泽或无光泽的。图 2-5-16 是这种基本型铸涂机的示意图。此外，有的把涂料直接涂于缸上干燥，然后用涂有胶粘剂的纸页去粘揭。有的则用酸或钙钡等盐的溶液使纸面涂层固化(凝胶化)，再压贴到铸涂缸上进行加工。

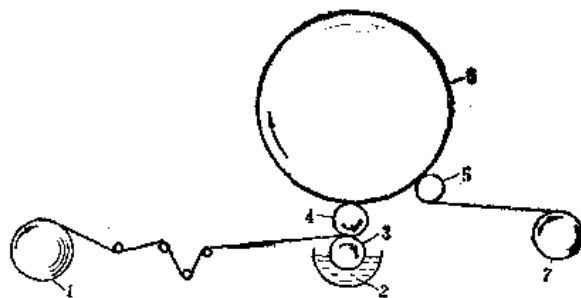


图 2-5-16 铸涂机

1—原纸 2—涂料 3—涂布辊 4—压紧辊 5—剥离辊 6—铸涂缸 7—卷取

2. 干法涂布纸

这种方法是将高熔点的热塑性树脂和瓷土、钛白等颜料(颜料重量比 $>50\%$)混合，制成团粒，并在挤塑机中熔融，然后直接挤到与纸面接触的刮刀上，

由刮刀涂于纸上。衬辊通水冷却，涂层可马上固化，进行卷取。成纸耐水性好，适于胶版印刷。

3. 其他特殊纸

根据需要，在纸上涂以不同涂料，即得各种特殊纸。比如在照象原纸上，先涂一层以硫酸钡为主的钡地层，再涂上氯化银感光乳剂，最后涂上明胶保护层，即为照象感光

纸。在晒图原纸上涂以偶氮染料，即为晒图纸。其他如感压复写纸、感热记录纸、放电记录纸、静电记录纸、电解记录纸等，都是涂以不同涂料制得的。

另外在静电场中，将涂有羧甲基纤维素等胶粘剂的原纸置于负极，散布上各种纤维可制成丝绒纸。将金属粉散布在涂有胶粘剂的原纸上，可制成金属纸等。

二、变性加工纸

变性加工纸是将原纸经硫酸、氯化锌等化学药剂处理，使纸页纤维发生润胀、胶化、降解等物理化学变化，因此使原纸的性质发生质的变化。其许多特殊性能，可应用于许多特殊领域。当前，这类加工纸主要有植物羊皮纸和钢纸。

（一）植物羊皮纸

这是将植物纤维纸用硫酸处理而改变了原纸性质的加工纸，也称为硫酸纸。经硫酸处理后，纸页气孔大大减少，不透气性增强，并有不透油性、半透明性、难燃性及弹性等。可用做描图纸、书皮纸、防潮包装纸、电报打孔纸等。由于硫酸处理的杀菌作用，它还可以广泛地应用于食品包装。

羊皮化的程度如何，首先取决于原纸本身的性质。原纸应具备的最重要条件是要有较高的吸收性和机械强度，其次不应有褶子、皱纹、浆块、煤灰、金属屑等杂质和透明点。

造成原纸吸收性能的毛细作用，不仅取决于毛细管直径、液体表面张力等性质，还取决于影响固液接触界面状态的纤维性质。一般纤维素的纯度越高，越有利于浸透，羊皮化的效果越好。因此都采用棉纤维或精制化学浆来生产羊皮原纸。羊皮化溶液的浓度过高时，表面张力过大，与纸页作用形成一个不透气的薄膜，因而空气排不出，液体也难以渗透。

原纸的打浆度对吸收能力影响很大，应采用游离状浆(24~28°SR)，尽量避免小纤维化或过细切断(过细切断还将使原纸强度过于降低)。为保证原纸的多孔性，压榨要轻，进干燥的水分可高些，并在初期进行剧烈干燥。另外，网部成型与匀度要好。图2-5-17是羊皮纸的生产流程图。

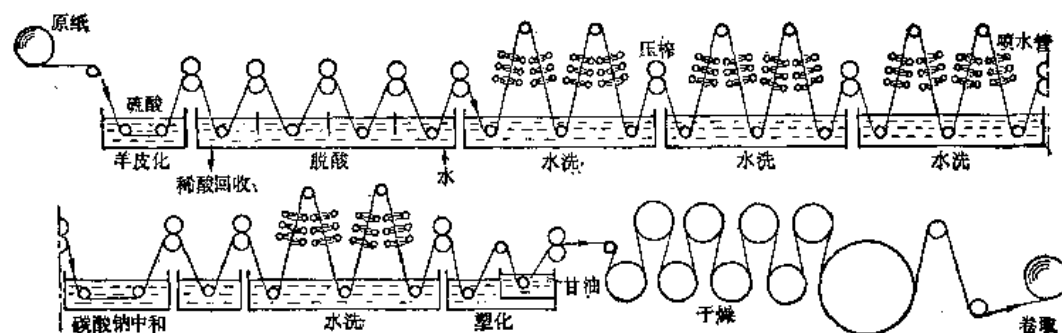


图 2-5-17 植物羊皮纸生产流程及设备示意图

1. 羊皮化过程

这是羊皮纸生产中的中心环节，羊皮化的程度如何，直接影响产品质量。酸液浓度很重要。一般，生产中采用72%的硫酸，原纸浸入15~17℃的酸液中，经过2.5~

3.0 秒即可完成羊皮化。硫酸浓度可以波美度计，控制在 $52 \sim 55^\circ \text{Bé}$ 之间。浓度过高，硫酸将迅速溶解纸页表层，而不能渗入其内，结果是表面易焦化，内部却羊皮化不充分。若浓度过低，渗透虽好，但作用缓慢，不仅延长了时间，羊皮化程度还将降低。

时间的过长或过短，将分别造成纤维分解的增加或羊皮化不充分。

温度也很重要，温度过高将促进纤维素分解。酸液吸收水分(纸页或空气中的)放出的热，或环境温度升高，都会使酸液温度升高，所以羊皮化槽应有冷却装置。

但羊皮化的时间和温度应视原纸的厚度及吸收性等而定，比如对于厚度较高或吸收性较差的纸，应适当提高温度或延长时间，以加强羊皮化作用。

2. 洗涤与碱处理

原纸在酸处理后经压榨除去余酸，并经洗涤进一步洗掉残酸，再用浓度为 $0.1 \sim 0.4\%$ 的 Na_2CO_3 溶液与残酸中和。此后再经洗涤，以除去残碱及生成的 Na_2SO_4 。 Na_2CO_3 的用量及溶液浓度，应由纸页的厚度、车速及残酸的洗涤情况来调节。提高温度可提高中和速度，一般可提高到 $35 \sim 40^\circ \text{C}$ 。

洗涤好的羊皮纸，应与刚果红和酚酞试液呈中性反应，残酸不大于 0.03% 。

3. 羊皮纸的塑化

由未精制的木浆抄制的原纸，羊皮化后往往变硬发脆，塑化的目的在于使羊皮纸柔软并富有弹性。一般以甘油(纯甘油含量 $10 \sim 12\%$)为塑化剂，也有利用 NaCl 的吸水性来使羊皮纸塑化的。 NaCl 易溶于水，可减少烘缸表面出现的薄层沉积物，且价廉。还可用醋酸钾或葡萄糖溶液做塑化剂。

4. 羊皮纸的干燥

羊皮纸的干燥不宜过度加热，否则纸页将过度收缩，并生成气泡，产生扭曲，一般最高温度在 85°C 左右。

(二) 钢纸

用浓氯化锌溶液处理原纸，使纤维素发生剧烈润胀和胶化，从而部分水解而成为短链物，具有一定粘着能力，将纸页在胶化烘缸上层层粘合起来，再经老化、洗涤(脱盐)干燥、整形，即制成钢纸。

钢纸以其机械强度高而得名。它坚硬而质轻，具有高机械强度、介电强度和弹性，又有加工成型、耐摩、耐热和耐腐蚀性等，所以钢纸制品具有耐久、质轻、美观、价廉的优点。可制取电气工业和化学工业中的各种垫片、绝缘体；机械工业中的高速无声齿轮、轴套等。另外在汽车、航空、纺织等工业及日常生活中也有广泛用途。

原纸的质量及其对加工的适应性很重要。一般要求原纸能较好地吸收氯化锌溶液，并能和氯化锌较好地反应，否则胶化程度会降低，粘结力小，使制成的钢纸易起泡分层。但吸收能力和反应能力也不得过高，否则易使钢纸强度降低，收缩率和比重增大，甚至原纸会因胶化过度而溶解。所以吸收能力一般控制在 $35 \sim 45$ 毫米之间。

原纸应有一定强度(裂断长纵、横应分别在 3500 米和 2100 米以上)，否则制成的钢纸强度会减低。

要求原纸组织均匀，不应有压花和浆团，尘埃不应过多，否则会使钢纸层间结合不良，易分层起泡，或表面不平。金属粒子或钙，易使钢纸绝缘性降低，发脆，分层，弹

性降低等。原纸水分也不应太高，一般水分高过 10% 时，胶化后的钢纸太软，弹性降低，甚至被压溃，制不成钢纸。图 2-5-18 是钢纸的生产流程图。

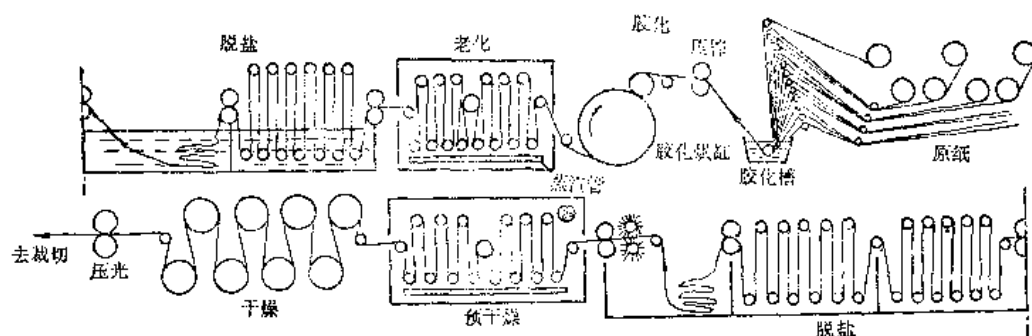


图 2-5-18 钢纸生产流程及设备示意图

1. 原纸的胶化

这是钢纸生产中的最重要工序，工艺条件的控制对钢纸质量影响很大。主要影响因素如下：

(1) 氯化锌溶液的浓度：该浓度对钢纸质量影响很大，对于吸收性不同的原纸，其浓度也应不同。一般原纸吸收度较低时，随着氯化锌溶液浓度的增加，钢纸的强度、粘结力和比重都增加。而吸收度较高的纸，在溶液浓度增加的初期，这些指标也相应增高，但浓度达到一定值后，由于吸收能力较高，反应能力较大，使纤维过于损伤，强度开始降低。对于吸收度为 45 毫米的原纸，采用比重为 1.96~1.98 者较为合适。

原纸厚度增大时，应在胶化时增加其粘结能力，以防在脱盐处理时，因粘结力低而产生分层现象，所以此时溶液浓度应大些。

(2) 胶化温度：主要是控制胶化液和胶化烘缸的温度。其次，室温和湿度也影响钢纸的质量。在不同温度下，原纸吸收氯化锌溶液的量不同，若温度范围适当，钢纸强度将随温度的升高而提高。但温度不能过高（夏季不能高过 35℃，冬季不能高过 50℃），以免纸页润胀、胶溶过度，造成断头，以及钢纸强度降低。若胶化温度过低，胶化后钢纸强度降低，当低于 15℃ 时，原纸即润胀不良，难以粘结成钢纸。胶化烘缸的温度也需控制，夏季高过 70℃，胶化后的钢纸就将变软，易产生脱勾、窝坏等纸病；若温度过低，胶化后的钢纸很硬，钢纸表面的氯化锌溶液压不干，易产生粘破、起皱、分层等纸病。

(3) 胶化时间：胶化时间过长，纤维将损伤过度；而胶化时间过短，纤维的润胀和胶溶即不良，这都将影响钢纸强度。胶化时间应根据原纸吸收性、厚度、胶化温度及氯化锌浓度等来确定，一般在 2~2.5 秒时强度较好。

(4) 胶化剂纯度：胶化液中含杂质质量越高，胶化程度越不好。当有钙、铁及碱金属的氯化物存在时，尤其是钙盐，将影响钢纸的粘结。

2. 老化及脱盐

老化就是胶化后的钢纸，在空气中逐渐冷却的过程。在此过程中，纸内未胶化的纤维含量渐少，胶化成熟度渐高。所以纸质趋于均匀，层间结合力增强，绝缘性能提高，而吸收率相应减小。老化时间应根据纸页厚度而定（参见图 2-5-19），时间过长会有相

反的效果。老化温度夏季为室温，冬季为 30~40℃。

脱盐就是用水浸出多余的氯化锌，以提高钢纸的绝缘性，使纸层更紧密，并回收该部分氯化锌。脱盐后钢纸内氯化锌的含量应在 0.2% 以下。

脱盐时需防止氯化锌迅速扩散出来，否则钢纸内部将起泡。一般采用逆流洗涤，即开始先用浓度为 30~40% 的氯化锌溶液洗，逐次减低洗液浓度，每次降低不应过大，最后用清水洗至 0.2% 以下。洗液的浓度视季节不同，而温度为 36~40℃。最后的清水温度为 40~60℃。脱盐时间视钢纸厚度而定（见图 2-5-20）。

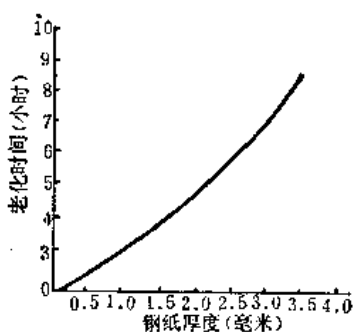


图 2-5-19 钢纸厚度与老化时间的关系

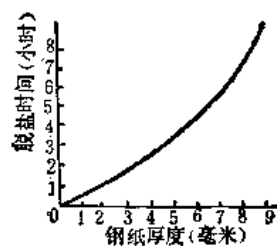


图 2-5-20 钢纸厚度与脱盐时间的关系

3. 干燥及整形

脱盐后的钢纸尚有 16% 的水分，需要进行干燥。图 2-5-18 所示的连续式钢纸机，可采用干燥室和烘缸联合的干燥设备。对于厚度大的平板钢纸，可采用长廊式干燥器，即把钢纸悬挂在室内，干燥温度在 60℃ 以下。干燥时间视厚度而定，厚度大，时间要长，以利于水分由钢纸内部向外扩散。这是由于胶化后的钢纸孔隙率很低，将阻碍水分的蒸发，降低干燥速度。有人提出干燥时间与厚度的 1.4 次方成正比。

干燥后的收缩率为：纵向 13~15%，横向 23~26%，厚度方向可达 50%。收缩率的大小与胶化条件有关，要防止其波动，应注意控制胶化条件及原纸质量。

干燥后的钢纸表面弯曲不平，必须用热压机使其压平，即整形。压平之前浸以温水，并在平衡室内排好、放置，使其水分平衡，然后经热压机压平。热压机加热平板的温度为 120~130℃，钢纸承受压力为 343×10^4 牛顿/米² (35 公斤/厘米²)，热压的时间由钢纸的厚度而定，一般为 1.5~6 分钟。

压平后的钢纸可经压光机压光，以增加表面平滑度和紧度。

三、浸渍加工纸

用树脂、油类、蜡质、沥青等物质对原纸进行浸渍吸收，即制得浸渍加工纸。原纸经浸渍后可获得防油、防水、防潮、耐磨等保护性能。此法要求原纸对浸渍物有良好的吸收性，纸页组织均匀。一般采用打浆、压榨和压光程度均较低，不施胶的纸页。另外要有一定强度，以适于加工作业。

1. 树脂浸渍纸

纸页经合成树脂或合成橡胶的乳液浸渍，可以改善表面性质，增加物理强度，获得

防水、防油、耐磨等特性，用做人造皮革、衬垫材料及特殊印刷纸等。若用折射率与纤维素相同（1.553~1.660）的树脂或油浸渍纸页，可获得光学均匀性，增大透明度，用做描图纸和感光复印纸等。若用酚醛树脂等热硬性树脂浸渍原纸，然后在高温高压下熟成，可制得刚性层压制品，用做电气绝缘板和家具、天花板的装饰层等。

2. 沥青纸、油纸和蜡纸

沥青纸是原纸经沥青浸渍的制品。一般将卷筒原纸通过熔融的沥青，再由两个加热的辊间通过，使沥青完全浸透，并将余量挤出。在空气中冷却后，再撒上滑石粉或云母粉等，以防相互粘结。其特点是具有耐水性，可用做屋顶纸（即油毡纸，原纸为废棉抄制的厚纸）和防水包装纸（原纸为废纸抄成的薄纸）。另外有一种防潮纸，是用沥青将两层薄原纸粘贴在一起制成的。

油纸是原纸经油浸所得的制品。具有耐水性、防潮性，并由于油的氧化和干燥，可增加透明性和强度。一般用做水果、肉类、金属等包装。用油的种类，应根据用途不同而定，常用的有桐油、亚麻仁油，橄榄油或某些矿物油。

蜡纸是原纸浸以石蜡、黄蜡、白蜡等蜡类物质而制得的加工纸，具有耐水性和不透明性，一般用于特殊包装。浸蜡时，可用熔融的蜡液，也可以用蜡的有机溶液。

四、机械加工纸

将上述加工纸再经轧花、特殊磨光和起皱等机械加工，即得机械加工纸。加工的目的主要是改善外观，增强艺术感，用于装饰纸、壁纸等。

一般轧花机由一个纸辊和两个（或一个）中空的钢辊组成，钢辊上刻有花纹，将颜料或树脂涂布纸在加压、加温（钢辊通汽）下通过辊间，即被压出花纹。

磨光可使纸页获得高光泽，比如光彩夺目的蜡光纸，就是在单面涂有彩色涂料的涂布纸上进行磨光制得的。老式的磨光机是借燧石在纸面上的往复运动来磨光的，其生产效率很低。辊式磨光机是较新式的，它由两个纸辊，中间夹一根中空的钢辊组成，钢辊可通汽升温，其转速比纸辊快2~3倍，利用转速差和温度，起到磨光作用。

五、复合加工纸

用胶粘剂将纸页和纸页，或纸页和塑料薄膜、金属箔等贴合起来，即得贴合加工纸。经加工，纸页强度提高了，并可改善外观，或具有不透气性、防水性等。由于所用胶粘剂的种类不同，加工方法也不同。采用聚乙烯醇、淀粉等水溶性胶粘剂，可采用胶粘剂涂布→贴合→干燥→卷取的流程，即胶合法；采用某些天然或合成橡胶的有机溶剂性胶粘剂时，可采用胶粘剂涂布→干燥→贴合→卷取的流程，即干法贴合；采用蜡类、低熔点聚乙烯等热融性胶粘剂时，可采用热融涂布→贴合→冷却→卷取的流程，即热融贴合；而采用低密度聚乙烯等热塑性树脂，则可采用挤压贴合法（设备与挤压涂布同）。

第二节 非植物纤维纸

一、合成纤维纸

合成纤维纸，即由合成纤维抄制的纸。根据所用原料纤维的不同，可取不同的名称。比如：维尼纶纤维纸、尼龙纤维纸、聚丙烯酸纤维纸、聚乙烯纤维纸、聚丙烯纤维纸、粘胶纤维纸等。合成纤维具有很多植物纤维所没有的特性，用它来造纸，成纸可获得一定的特性，满足某些方面的需要。尤其是近年来，合成纤维工业的发展，不断提供出新的原料，使合成纤维造纸技术得到了不断的发展。

合成纤维纸有两种制造方法，即湿法和干法。所谓湿法，就是把合成纤维制成水的悬浮液，然后用普通的抄纸方法来抄制。而干法是把纤维用机械或气流等方法制成均匀的纤维网，然后用胶粘剂粘结起来(见“干法造纸机”)。

(一) 合成纤维纸的特殊性能

1. 机械强度高：耐破度、抗张强度、撕裂度、耐折度等都较一般纸高，尤其耐折度更为突出。

2. 耐腐蚀性强，耐光照老化作用强。

3. 吸水性小，耐水性强，尺寸稳定性好，白度高。

此外，若合理的选择纤维原料，还可以获得不同的特殊性能。因此，合成纤维纸可用做证券纸、薄页纸、特殊包装纸、电气绝缘纸、耐酸耐碱滤纸、滤油纸等。若经涂布、浸渍、贴合等加工，可应用于更广泛的领域。

(二) 合成纤维的分散和结合

合成纤维的湿法造纸和普通抄纸方法的过程大致相同。但对于普通的合成纤维，在具体制造技术上，又有其特点。这是因为，它和植物纤维在物理化学性质上有很大差别，其中对制造过程影响最大的是：(1) 大部分合成纤维是憎水的。(2) 多数合成纤维不易产生细纤维化。因此，合成纤维缺乏在水中的分散性和打浆时的分丝帚化能力。使纸页的交织性不好，成纸匀度差，强度过低。于是，合成纤维湿法造纸需要解决的重要问题是：(1) 纤维在水中的良好分散。(2) 纤维之间的良好结合。

1. 纤维的分散

由于普通合成纤维具有憎水性，在水中容易沉淀和絮聚，使成纸的匀度不好。因此，生产中往往采用分散剂，以保证合成纤维能良好分散于水中。比如采用粘草、黄蜀葵等植物粘剂，它可使浆液的粘度增高，从而限制纤维在水中的运动自由度，使纤维不易互相接触，起到防止絮聚的作用。

、现在生产中已逐渐采用化学粘剂，较适用的有多磷酸钠、氧化聚乙烯(用量为 0.35~0.6%)、聚丙烯酰胺(用量为 0.38~0.72%)等。其次可采用羧甲基纤维素、聚丙烯酸钠、聚乙烯醇、藻朊酸钠等。

2. 纤维的结合

普通化学纤维自身无结合能力，一般都采用胶粘剂来结合。胶粘剂的种类很多，结合的机理也不同，常用胶粘剂有 ZnBr_2 、 CaBr_2 、 $\text{Mg}(\text{CdS})_2$ 等无机盐类及合成树脂类

(见表 2-5-9)。

无机盐类的粘机理是：用这种盐的稀溶液浸渍纸页时，它对合成纤维没有明显作用，而当干燥使溶液增浓时，浓溶液借表面张力集聚在纤维交结点上，并使纤维发生润胀或溶解，从而达到粘结的目的。采用这种胶粘剂，对溶液浓度和干燥温度应严加控制，以防过溶或结合不良。由于不易选择到甚为理想的盐类，故多采用合成树脂胶粘剂。

表 2-5-9

合成树脂胶粘剂的分类

溶 液 状	水 溶 液 溶 剂 溶 液 乳 油 液	聚乙烯醇、粘胶液 天然及合成橡胶、乙烯类树脂 同 上
粉 末 状	水 润 胀 型 溶 剂 润 胀 型 热 可 塑 型 热 硬 化 型	聚乙烯醇 天然及合成橡胶、乙烯类树脂 聚酰胺树脂、乙烯类树脂 酚醛树脂、氨基树脂
纤 维 状	水 润 胀 型 溶 剂 润 胀 型 热 可 塑 型	聚乙烯醇纤维 纤维素醋酸酯纤维、聚丙烯酸纤维 聚酯纤维、聚丙烯酸纤维 乙烯·醋酸乙烯共聚物纤维

对于合成树脂胶粘剂，溶液状的多采用乳油液(胶乳)，粉末状和纤维状的多采用聚乙烯醇制的粉末和纤维。一般采用与合成纤维自身原料相同的胶粘剂较为理想。当采用热可塑型胶粘剂(用热处理法粘结)时，它与纤维的熔点应不同。要根据具体情况来适当选择。

胶粘剂的添加方法有两种，即浸渍法(用于溶液状)和混抄法(用于纤维状及粉末状)。也可以与植物纤维原料混抄，以改善纤维的结合。

3. 影响纤维分散和结合的因素

(1) 合成纤维的水润湿性：如前所述，合成纤维的憎水性影响它的水分散性，而各种纤维的憎水性并不一致。由表 2-5-10 可见，含羟基等活性基团者，亲水性较好，其相应的纤维可以很好地被水浸润和水化，水分散性较好，成纸匀度也相应提高；反之，憎水性(接触角大)的纤维不被水润湿，在水中，易因表面附有小气泡而漂浮絮聚，影响成纸匀度。若加入起泡性小而浸润性大的表面活性剂，或同时加入消泡剂，可以得到一定的改善。

(2) 纤维的比重：合成纤维的比重差别很大(见表 2-5-11)。在抄纸时，比重小者，易漂浮于水面，造成絮聚；而比重过大者，易沉淀，影响分散。因此，必须根据合成纤维的比重，采取相应措施。比如对于聚乙烯等比重小者，为了增强初期的湿强度，改善分散性，可与植物纤维混抄。而比重大的纤维，由于易沉降，可采用短网纸机。分散剂也应根据纤维的种类来适当选择。

(3) 纤维的长宽比：合成纤维的长宽比，对浆料的性质及成纸强度也有很大影响。显然，在保证分散良好的情况下，长纤维容易相互交织，表现出较高的撕裂强度。而纤维较细，单位重量的纤维根数增多，纤维间的结合点因此增多，这将改善成纸的抗张强

表 2-5-10 高分子物质的水接触角

物 质 名 称	接 触 角
聚乙烯	79~105°
聚对苯二甲酸乙二醇酯	81°
聚醋酸乙烯	57~65°
聚乙烯醇	37~39°
聚酰胺	70°
植物纤维	40~50°
醋酸纤维素	53°

表 2-5-11 各种纤维的比重

纤 维	比 重	纤 维	比 重
聚丙烯	0.91	聚 酯	1.38
高密度聚乙烯	0.94~0.96	聚氯乙烯	1.39
尼 龙	1.14	棉、苧麻	1.52
丙烯酸纤维	1.14~1.17	聚偏二氯乙烯	1.71
维尼纶	1.26	聚四氟乙烯	2.20
醋酸纤维素	1.30	石棉纤维	2.10~2.80
羊 毛	1.32	玻璃纤维	2.56

度和耐破强度等(图 2-5-21)。但长宽比越大,纤维絮聚的倾向越强,所以分散性和成纸匀度也受影响。

由上述可见,对于性质不同的纤维,只能在具体分析的基础上,采取不同的抄造工艺。比如,尼龙纤维具有憎水性,又缺乏互相交织的能力,为了改善其在水中的分散性并提高纸页湿强度,可以与打过浆的植物纤维浆料混抄,也可以采用表面活性物质作为分散剂。而在纤维结合方面,可采用无机盐类或易溶性聚乙烯醇等作为胶粘剂。维尼纶纤维(聚乙烯醇)却具有亲水性,不加分散剂也能取得较好的分散效果。若为难溶性(水解度高者)和易溶性(水解度低者)维尼纶混合抽丝制得的纤维,则有小纤维化的能力,经打浆处理后,不采用胶粘剂也可抄纸。因此,根据具体情况来确定抄造工艺是很重要的。

(三) 合成浆

要从根本上解决合成纤维的分散和结合问题,必须由合成纤维自身找出路。近年来

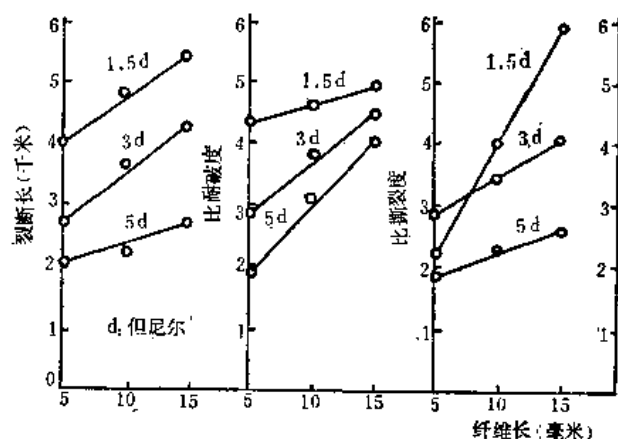


图 2-5-21 粘胶纤维长度、细度与强度的关系

合成浆的出现，在这方面迈出了关键性的一步。

1. 合成浆的概念

就广义而言，合成浆也属于合成纤维，但就狭义而言，合成浆自身有着明确的概念，和普通的合成纤维是有区别的。所谓合成浆，就是由合成高分子物质制得的、在纤维形态及制纸性能上与纸浆相类似的合成纤维浆料。具体地说，在纤维形态上，它可以在规格和几何形状上与阔叶木浆或针叶木浆相似。在制纸性能上，它可以均匀地分散于水；纤维易分丝帚化，具有相互交织的性能；有的可以具有亲水性，纤维可互相结合。除了原料本身的性质（比如有的含亲水性基）外，合成浆获得上述特性的主要原因，在于比表面积比普通合成纤维大得多，提高了纤维的表面能，增强了在水中的分散性和交织性。

2. 合成浆的制法

(1) 直接法：即由单体直接聚合制得合成浆的方法。比如将乙烯或丙烯等单体溶解在正烷烃、环己烷等反应介质中，并以四氯化钛等为催化剂，在 $9.81 \sim 98.1 \times 10^4$ 牛顿/米² (1~10 个大气压) 下聚合，边反应边加以剪切力(搅拌)，即可制得纤维状聚合物。

(2) 间接法：即用已合成的高分子物质为原料，以不同的方式制得合成浆的方法，其中也包括很多方法：

熔融法：将两种或两种以上的不相混溶的热塑性树脂（聚苯乙烯与聚乙烯、聚苯乙烯与苯乙烯-丙烯腈共聚物等）共熔，然后挤压制成纤维或薄膜，并拉伸（使高分子定向排列）。其帚化方法，可以切断打浆，亦可经反复碾压、撕裂、磨碎成短纤维。由于两种树脂不相互混溶，就保证了沿拉伸方向的纵向分丝。

溶液法：将某种热塑性树脂在高于其熔点的温度下，加压力强制溶于沸点较树脂熔点至少低 25℃ 的溶剂中，并且在溶剂温度低于沸点时，树脂为不溶性的。将这种树脂溶液以约 760 米/秒的速度由小孔喷出，溶剂在减压下立即挥发，从而制得纵向纤维组织中含有大量孔穴的泡沫状疏松纤维，可以经打浆而帚化。

3. 合成浆纸的特性及应用

合成浆可以单独抄纸，也可以与植物纤维混合抄纸。由于合成浆的配入，可提高纸的白度、不透明性、尺寸稳定性和耐腐蚀性。并具有较高的松厚度和孔隙率，合成浆含量高于 60%，纸页可有热封性。另外，合成浆与水分多属物理结合，故可减少干燥部脱水，降低能耗，并且废纸可以回抄。但合成浆的配入往往使纸页的机械强度降低，可加入天然或变性淀粉、三聚氰胺树脂或合成胶乳等作为增强剂。

由于上述特性，合成浆可以和植物纤维混合抄制各种印刷纸，可以生产透气度大的防水纸、外包装纸和热封袋纸。也可以生产电气绝缘纸、隔音材料、绝热材料、油滤器和贴合材料等。另外可用合成浆生产无纺布。

二、玻璃纤维纸

(一) 玻璃纤维纸的性质和用途

玻璃纤维纸的性质主要取决于玻璃纤维自身的性质。而玻璃纤维的性质如下：抗张强度极高，尺寸稳定性高，耐水、耐油、耐酸、耐腐蚀等性能好，耐热、不燃性好，热传导性小，电绝缘性好。如果能合理地选择胶粘剂，可以充分发挥这些特长，使纸页具

有相应的特性，可用做气体和液体的净化用滤纸、吸音及绝热材料、电绝缘材料，以及合成树脂制品的增强材料等。

（二）玻璃纤维纸的抄造

玻璃纤维可经过轻度打浆，以疏解或适当切短。抄纸时，可采用 100% 的玻璃纤维，也可与植物纤维混抄。混抄不但可提高纸页的滤水速度及干燥速度，而且可以提高纸页的干、湿强度、吸收性、松厚度及尺寸稳定性等。但配入量应适当，一般超过 2% 时，耐破度和抗张强度将降低，超过 50% 时，撕裂度将降低。另外，压光应采用高温低线压力操作，以免强度降低。

1. 纤维细度对成纸强度的影响

玻璃纤维的细度对纸页强度影响很大。比如用 100% 的玻璃纤维抄纸时，直径为 1 微米时，纸页强度仅为 0.05 公斤/厘米²；而直径为 0.6 微米和 0.16 微米时，强度分别为 3.5 和 6.6 公斤/厘米²，即直径减小，纸页强度增高。当与植物纤维混抄时，纸页湿强度的增高，也是直径细者，效果更显著。

2. 打浆温度和 pH 值

如上所述，玻璃纤维只做轻度打浆，浓度一般在 1% 以下。为了使纤维很好地悬浮，一般控制打浆温度为 35°C，pH 值为 3~5（可用硫酸调节）。在这种低 pH 值下，玻璃纤维表面可有部分溶解，产生一定粘性，既有利于分散，又可在成纸后，于纤维间形成硅酸膜，加强结合，提高强度。

3. 胶粘剂

要使玻璃纤维纸具有较高的强度，应采用胶粘剂。比如，在打浆机中加入聚乙烯氮五环，或采用有机硅树脂等，也可以和聚乙烯醇纤维混抄。作为耐火和耐腐蚀性胶粘剂，可采用水玻璃和皂土等。

三、矿棉纤维纸

矿棉纤维也是一种玻璃纤维，是由炼铁的矿渣、褐煤及泥煤的炉渣及白土等烧至熔融后，用高压空气或蒸汽吹制而成的，直径较粗，单纤维强度较差，只用做配入浆料，来改善油毡原纸的吸油性和耐久性，降低其成本。其缺点是粗而脆硬，结合不好，易脱落而对人体有害。

四、金属纤维纸及其他

金属纤维具有导电、导热性，亦可具有磁性，混抄时可提高纸页的吸收性和松厚度。所以对于某些高温技术和电气设备等极为有用，可作为通电加热器材及过滤器材等。它可以与植物纤维混抄，或用聚乙烯醇纤维为胶粘剂来混抄。一般，随着金属纤维长度的增加，电阻急剧下降，达到一定长度后，电阻值趋于稳定。当金属纤维含量下降时，电阻急剧增加。另外，纤维长度超过 10 毫米，在水中的分散变得困难。

近年来，碳纤维有了很大发展，它具有密度小、质轻、弹性好、强度高、耐热性和导电、导热性好、耐腐蚀性好等优点。它可以和植物纤维混抄，或与石棉纤维、玻璃纤维等混抄，若采用适当的合成树脂胶粘剂，可用 100% 的碳纤维造纸。碳纤维含量为

10~20%的纸可用做除静电材料, 30~50%者可制成加热器材, 而在90%以上者, 可作为复合材料的基材。石棉纤维经轮碾机疏解后, 可用短网纸机抄纸, 胶粘剂可用聚乙烯醇纤维和合成树脂胶乳, 其成纸可用做耐热的垫圈及填料等。

五、合 成 纸

合成纸包括合成纤维纸和以塑料薄膜为纸胎的纸。前者已有讨论, 此处仅就后者叙述如下。

(一) 合成纸的优点和缺点

优点: (1) 平滑度高, 适印性好, 富有光泽; (2) 白度高, 印刷的颜色效果好; (3) 耐水性好, 对湿度、温度变化的反应小, 尺寸稳定性好; (4) 耐腐蚀; (5) 强度高, 可以制得很薄; (6) 具有热塑性, 可热封或压塑成型等。

缺点: (1) 刚性、弹性小, 不利于平版印刷操作; (2) 易带静电; (3) 耐溶剂和耐热性差; (4) 撕裂度和折叠性差, 透气性不好; (5) 成本高, 废纸不能回抄。

(二) 合成纸的制法

多数成膜树脂都可作为合成纸的原料。常用的有高密度聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯类、尼龙、聚碳酸酯等。这些原料经不同的加工, 可得不同类型的合成纸。

1. 发泡纸的制法

这种方法的原理是: 由于塑料薄膜中加有发泡剂, 在薄膜的内部或表面形成无数小气泡, 从而变得不透明和表面粗糙化, 具有了适印性和书写性。

(1) 溶剂型: 用低分子烷烃或苯、甲苯等低沸点溶剂浸渍树脂颗粒, 然后在挤塑机中加压熔融, 当挤到低压区成型时, 溶剂因降压而急剧挥发, 制成多泡的薄膜。

(2) 水溶型: 将食盐、聚乙烯醇等水溶性物质和树脂混融, 并挤压成型, 成膜后经水浸处理, 使水溶性物质溶出, 即可在薄膜内形成微多孔。

(3) 分解型: 采用偶氮甲酰胺等热分解性物质浸渍塑料薄膜(若对薄膜无溶解润胀作用, 可将药剂溶入对薄膜有溶解润胀作用的溶剂), 然后在塑料软化点及药剂分解温度以上的温度下进行热处理, 即可因药剂分解出气体而发泡。

2. 药剂表面处理纸

采用丙酮、四氢呋喃等的二烷基亚砷或二烷基替酰胺溶液处理薄膜, 使薄膜部分溶解或润胀, 然后立即用水、甲醇等薄膜的非溶剂冲洗。由于选定的处理剂与这种冲洗剂可以混溶, 因此处理剂被除掉, 溶解的树脂形成微粒凝固于薄膜表面; 润胀的薄膜因浸入的处理剂被除去而形成多孔的表面, 于是薄膜变得不透明, 并具有适印性和书写性。

3. 涂布合成纸

这种纸的生产过程及所用颜料和颜料涂布纸大体相同。但由于薄膜具有憎水性, 因此除了水性涂料外, 还采用有机溶剂分散液。

为了改善水性涂料与薄膜的相容性, 可加入表面活性剂, 或采用能与涂料混溶, 又能使薄膜润胀的有机溶剂(如醋酸乙酯等), 预先处理薄膜, 在溶剂尚未干燥时涂布, 涂料即可借与有机溶剂的混入而渗入薄膜, 以提高涂层结合强度。也可用上述的发泡法及药剂表面处理法或机械法来使表面粗糙化, 以提高涂层结合强度。

胶粘剂可采用干酪素或合成胶乳,若采用原料单体与薄膜树脂相同的胶乳,粘结效果更好。

4. 颜料填加纸及其他

颜料填加纸的生产简单,即将 TiO_2 、 GaGO_3 等无机颜料与合成树脂混融,然后制成薄膜,即得含有无机颜料的不透明合成纸,钙塑纸即属此类。

还有一种表面粗化纸,即以雕印法(薄膜在加热状态下雕印出纸一样的粗糙表面)或喷砂法(用喷砂器将金刚砂喷到薄膜表面上)等机械方法,使薄膜表面粗糙化,降低其透明性。

(三) 纸胎薄膜

发泡纸和颜料填加纸是将树脂直接加工成薄膜状的纸页。而药剂表面处理纸、涂布合成纸和表面粗化纸,都是对纸胎薄膜进行加工制得的。纸胎薄膜大部分要经两个阶段来制备。第一段是用普通塑料薄膜的制法制成无延伸薄膜,即用挤塑机将熔融的树脂,经过具有细缝的塑膜,挤出成膜(熔融挤出法);或让树脂渐次经过加热的辊间,压制成膜(压延法);或将树脂溶液流放到迴转的金属辊上或运动的拖带上,除去溶剂后剥取成膜(流延法)。但无延伸薄膜强度差,无挺硬性,所以要经过双向延伸处理,即在加热状态下使薄膜在纵横两个方向上被拉伸,薄膜内大分子即在力的作用下定向排列,提高其结晶度,从而提高薄膜的强度和挺硬性(刚度),使薄膜更适合于纸的用途。薄膜经延伸后,其耐热、防潮及电绝缘等性能都得到改善。

(四) 合成纸的用途

不同类型的合成纸,其特性不同,产品用途也不同。一般发泡纸的厚度较高,强度较差,吸墨性不佳,可用做宣传画用纸、保温吸音的建筑材料及缓冲材料等。颜料填加纸的厚度也较大,吸墨性差,多用做包装纸、书皮纸等,若采用特殊油墨,也可得到较好的印刷效果,可用来印刷画册、地图、宣传画等。药剂表面处理纸和涂布合成纸保留着纸胎薄膜的强度,适印性较好,故前者可用于地图、书籍、辞典等的印刷,后者多用做铜版纸、各种美术出版物、高级文献、特种说明书等高级印刷纸。由于表面粗化纸为半透明性的,故多用做描图纸。

主要参考文献

1. 天津大学等院校:制浆造纸工艺学,中国财政经济出版社出版,1962年。
2. J. P. 凯西:制浆造纸化学工艺学(下册),中国财政经济出版社出版,1964年。
3. 纸パルプ技術協会:仕上・化纖紙・合成紙・塗工,1970年。
4. R. G. MacDONALD, J. N. FRANKLIN: Pulp and Paper manufacture, (and. Ed 1970), Vol. II, 9. Coating.

附 录

国际单位制

一、国际制基本单位

量	名 称	代 号
长 度	米	m
质 量	千克(公斤)	kg
时 间	秒	s
电流强度	安 培	A
热力学温度	开尔文	K
物质的量	摩 尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

二、工程单位与国际单位换算表

力:	1 公斤力=9.81 N(牛顿)
线压:	1 公斤/厘米=9.81 $\times 10^2$ N/m(牛顿/米)
压强:	1 公斤/厘米 ² =9.81 $\times 10^4$ N/m ² (牛顿/米 ²)
	1 工程大气压=9.81 $\times 10^4$ N/m ² (牛顿/米 ²)
	1 毫米汞柱=1.33 $\times 10^2$ N/m ² (牛顿/米 ²)
	1 毫米水柱=10.13 N/m ² (牛顿/米 ²)
热能、功、热:	1 卡=4.19 J(焦耳)
	1 千卡=4.19 $\times 10^3$ J(焦耳)
	1 公斤力·厘米=9.81 $\times 10^{-2}$ N·m(牛顿·米)
	1 公斤力·米=9.81 N·m=9.81 J(焦耳)
	1 尔格=1.0 $\times 10^{-7}$ J(焦耳)
	1 千瓦·时=3.6 $\times 10^6$ J(焦耳)
功率、传热速率:	1 卡/秒=4.19 W(瓦)
	1 千卡/时=1.16 W(瓦)
	1 尔格/秒=1.0 $\times 10^{-7}$ W(瓦)
绝对粘度:	1 厘泊=1.0 $\times 10^{-3}$ NS/m ² (牛顿·秒/米 ²)
	1 公斤力·秒/米 ² =9.81 NS/m ² (牛顿·秒/米 ²)
比热:	1 千卡/公斤·°C=4.19 J/kg·°K(焦耳/公斤·开)
热流密度:	1 卡/厘米 ² ·秒=4.19 $\times 10^4$ W/m ² (瓦/米 ²)
	1 千卡/米 ² ·时=1.16 $\times 10^4$ W/m ² (瓦/米 ²)
导热系数:	1 千卡/米·时·°C=1.16 $\times 10^4$ W/m·°K(瓦/米·开)

传热系数: $1 \text{ 千卡/米}^2 \cdot \text{时} \cdot ^\circ\text{C} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K} (\text{瓦/米}^2 \cdot \text{开})$

三、与国际单位制并用的单位

名 称	代 号		相当于国际制单位的值
	中 文	国 际	
分	分	min	1 分 = 60 秒
小 时	时	h	1 时 = 60 分 = 3600 秒
日	日	d	1 日 = 24 时 = 86400 秒
度	度	°	1 ° = ($\pi/180$) 弧度
分	分	'	1 ' = (1/60) ° = ($\pi/10800$) 弧度
秒	秒	"	1 " = (1/60)' = ($\pi/648000$) 弧度
升	升	l	1 升 = 1 分米 ³ = 10 ⁻³ 米 ³
吨	吨	t	1 吨 = 10 ³ 千克

目 录

正 文

出版日期 =